



**UN MODELE D'AIDE A LA SELECTION DES PROJETS :  
L'INTEGRATION DE LA PROCEDURE ANALYSE  
HIERARCHIQUE (AHP) ET LA PROGRAMMATION  
MATHEMATIQUE A OBJECTIF MULTIPLE  
( APPLICATION AUX PROJETS DE DEVELOPPEMENT DE CENTRALES  
ELECTRIQUES EN INDONESIE )**

**T H E S E**

pour obtenir le grade de :

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE DROIT, D'ECONOMIE  
ET DES SCIENCES D'AIX MARSEILLE**

**Discipline: Science de l'Information et la Decision**

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Udisubakti CIPTOMULYONO**  
le 20 mars 2000

**Directeur de thèse : Professeur Henri DOU**

**J U R Y**

J.B LESOURD	Directeur du CNRS	GREQUE – EHES- Marseille
H.DOUB	Professeur	CRRM- Université Aix-Marseille III
J.M. RUIZ	Professeur	ENSSPICAM- Université Aix-Marseille III
P. DUMAS	Professeur	UTV - La Garde
C. PAOLI	Professeur	IUT -Itteville
L. QUONIAM	Professeur	IUT - Saint. Raphael

PERPUSTAKAAN	
I T S	
Tgl. Terima	20 - 7 - 2000
Terima Dari	MI
No. Agenda Prp.	1371 / 107

RD  
658.403  
@ip  
M-1  
Loro

**RAPPORT SUR LA THESE DE DOCTORAT DE  
MONSIEUR UDI SUBAKTI CIPTOMULYONO,  
PRESENTEE A L'UNIVERSITE  
DE DROIT, D'ECONOMIE ET DES SCIENCES D'AIX-MARSEILLE**

par

**Jean-Baptiste LESOURD**  
*Directeur de Recherche au CNRS*

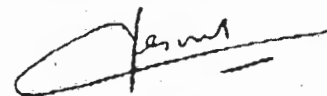
La thèse de Doctorat de Monsieur Udi Subakti Ciptomulyono, intitulée "*Un modèle d'aide à la sélection des projets. L'intégration de la procédure d'analyse hiérarchique et de la programmation mathématique à objectifs multiples*" représente à notre avis la concrétisation d'un travail de recherche important sur un sujet qui méritait d'être exploré et approfondi, à savoir l'application des méthodes multicritères d'aide à la décision et de celles d'analyse hiérarchique à la gestion de projets, en l'occurrence de projets de centrales électriques.

La thèse, dense, se présente donc comme une thèse professionnelle, tournée vers l'application, avec des analyses conceptuelles intéressantes. Elle intègre l'analyse hiérarchique AHP et les méthodes multicritères d'aide à la décision. L'une de ses originalités est de se situer au confluent de plusieurs champs scientifiques importants : celui de l'aide à la décision multicritère, et celui de la gestion des projets, avec application à des projets de centrales électriques en Indonésie. Il s'agit en effet d'un thème peu exploré dans la littérature. Or, le candidat a réalisé une synthèse heureuse entre les méthodes d'aide multicritère à la décision (en se centrant sur des méthodes issues de l'école nord-américaine), et un certain nombre de méthodes développées de manière parallèle en gestion des projets. On sait qu'il y a eu un débat sur les méthodes multicritères entre l'école nord-américaine (illustrées par les travaux de Ralph Steuer, de Zionts et Zeleny, aux Etats-Unis, et par certains travaux canadiens, comme ceux d'Alain Martel à l'Université Laval de Québec), et l'école européenne (illustrées par les travaux de Bernard Roy, à l'Université de Paris-Dauphine en France, et par ceux de l'école suisse, avec notamment ceux d'Alain Schärli à l'Université de Lausanne). Ce débat n'est pas éludé dans la thèse. Nous pensons toutefois que les enjeux théoriques et pratiques de ce débat mériteraient d'être clarifiés.

La thèse et ses diverses parties incluent un certain nombre de développements tout à fait pertinents, même si nous pensons qu'elle est par endroits trop succincte. De même, l'analyse (bibliographique notamment) de l'existant sur le sujet mériterait d'être approfondie. Par ailleurs, un certain nombre de points de forme et de fond pourraient être améliorés, mais le candidat n'est pas de langue maternelle française.

Compte tenu de ces éléments, nous pensons que Monsieur Udi Subakti Ciptomulyono a réalisé un travail approfondi sur un sujet important, qui est l'application des méthodes multicritères d'aide à la décision à la gestion des projets. C'est pourquoi, sous réserve que le mémoire définitif de thèse comporte des rectifications sur divers points de forme et de fond, nous concluons que le travail de Monsieur Udi Subakti Ciptomulyono est digne d'une thèse de Doctorat, et nous donnons un avis très favorable à ce qu'il soit présenté en soutenance.

Fait à Marseille, le 8 Mars 2000,



**Jean-Baptiste LESOURD**  
*Directeur de Recherche au CNRS*  
(Sciences de l'Economie et de la Gestion)

## **DEDICACE**

*Je dédie cette thèse à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont supporté et m'ont motivé tout au long de mes études, à mes parents dont la vie est synonyme pour moi d'amour et de sacrifice, pour le "teaching me the foundations of trully rewarding life", les mots ne sauraient exprimer ce que je leur dois, à la mémoire à mon père Bapak **SLAMET TJIPTOMOELJONO** qui a été décédé au mois mai 1999, également à toutes mes familles qui m'ont toujours soutenu et motivé, notamment Mas **Wowok** toujours depuis long temps m'a supporté de mes études, à mon épouse **Nin**, à ma fille **Ninditya** et mon fils **Dikstra**, en durant de long période de mon séjour en France qui font face à la vie séparée sans son mari et leur père, les solitudes, pas toujours facile, pour lui tous ce que je fais dans cette longue des travaux à consacrer.*

## AVANT - PROPOS

Faire des études dans un pays lointain, étant séparé des familles, des enfants, et soumis à des habitudes qui ne sont pas les siennes, ce ne sont pas là des expériences agréables.

Au début de mon séjour dans ce pays, j'avais l'impression que je n'arriverais jamais à me plier aux exigences de cet environnement. Les difficultés de la langue, le complice des "papiers", les rigueurs du mistral, les solitudes, et bien d'autre chose encore me faisaient peur. Cependant, la volonté et l'envie de connaître d'autres sociétés, d'autres cultures, d'autres gens et des sciences profondes m'ont pourtant décidé à séjourner en France.

Après tant d'années à passer les temps de bonheur et de malheur, "*ups and downs*" enfin je peux présenter ma thèse qui s'est déroulée au Centre de Recherche Rétrospective de Marseille (CRRM) - Université d'Aix Marseille III.

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur Henri DOU qui m'a ouvert les portes de son laboratoire et toujours apporté dans un grand esprit d'ouverture tant que d'avoir bien voulu diriger ce travail. Ses recommandations pertinentes, son aide précieuse et son accueil continu m'ont permis de mener bien cette étude.

Mes sincères remerciements vont à : M Jean Michel RUIZ, professeur au ENSSPICAM, M Jean Baptiste LESOURD, directeur du CNRS, M Philippe DUMAS, professeur au Lab. Le Pont UTV, M Clément PAOLI, professeur à l'I.U.T., M Luc QUOANIAM, professeur à l'I.U.T. St Raphaël pour leurs temps consacrés d'être des membres du jury et du rapporteur et leur implication dans ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à:

- Tous les chefs et les personnalités responsables au Bureau de Planification du Développement National (BAPPENAS) Jakarta, de Division de "Énergie et Électricité": M. Ir. Hanan NUGROHO M.Sc., et son staff M. Ir. Hari KRISTIJO, M. Ir. J. Rizal PRIMANA M.Sc., chef de Division Réseau Electrique, et aussi à M. Ir. Mesdin K.SIMARMATA.M.Sc., chef de Division de Marine, Aérospatial, Environnement et Technologie, pour leurs inappréciables soutiens, les discussions fructueuses que j'ai eu avec



eaux et qui ont bien voulu répondre à notre enquête pour leur coopération et leurs précieuses réponses. Également à tous responsables à la Société National d'Électricité (PLN) au Bureau de Planification d'Énergie Électrique de Société Nationale d'Électricité (PLN) à Jakarta qui a mis à ma disposition tous les documents et les données nécessaires à la réalisation de ce travail.

- Monsieur Dr. Manfred KLEEMANN, chef de "*System Analysis and Technology Evaluation (STE)*", *Research Centre Juelich (KFA)*" en Allemagne, pour leurs données et conseils pertinents
- Mes collègues à l'Institut de Technologie Sepuluh Novemper (ITS) toujours depuis long temps qui m'ont supporté mes études en France, surtout à M. Dr BUDI SANTOSA. M.Eng. et Mme Ir. SRIGUNANI PERTIWI. MSEI du département de génie industriel de l'ITS à Surabaya pour m'aider le financier de retourner en France
- Mlle Dr Rasmi GINTING DEA pour ses amitiés, ses gentillesse et ses bonnes volontés à toujours m'aider durant de mon séjour à Marseille.
- Monsieur Philippe MARTEL, Le conseiller Culturel, Scientifique et de Coopération de l'Ambassade de France en Indonésie, pour me supporter de financier des derniers mois de mes études.
- "*Last but not least*" à Mme Widyandari Cristianti de Sfere à Jakarta et aux staffs de Sfere à Paris qui m'ont géré de mon programme d'étude en France

Je voudrais exprimer particulièrement mes sincères remerciements pour ma belle-mère et mon beau-père Ibu/Bapak ROBANI, qui m'ont remplacé de mon existant à notre famille lorsque de mon séjour en France. Je tiens également à remercier à toutes mes familles qui m'ont toujours soutenu et motivé toujours depuis long temps. J'ai le plaisir et le devoir de reconnaître mes grâces à vous tous.

# TABLE DES MATIERES

page

<b>DEDICACE</b> . . . . .	i
<b>REMERCIEMENTS</b> . . . . .	ii
<b>TABLES DES MATIERES</b> . . . . .	iii
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> . . . . .	x
<b>LISTE DES FIGURES</b> . . . . .	xi
<b>LISTE DES ANNEXES</b> . . . . .	xiii
<b>INTRODUCTION.</b> . . . .	1
<b>CHAPITRE 1 CADRE CONCEPTUEL DE PROJET</b> . . . . .	10
1.1 DEFINITION D'UN PROJET . . . . .	10
1.2 CLASSEMENT DES PROJETS . . . . .	12
1.2.1 Classement par les finalités . . . . .	12
1.2.2 Classement par rapport au temps . . . . .	12
1.2.3 Classement d'après l'articulation d'un projets avec d'un autre projet. . . . .	13
1.2.3.1 Réalisation d'un projet peu affecter aux manières la réalisation d'un autre projet . . . . .	13
1.2.3.2 Réalisation d'un projet nécessitant la réalisation d'un autre projet. . . . .	13
1.2.4 Classement pour le projet industriel . . . . .	13
1.2.5 Classement par rapport à l'initiateur . . . . .	14
1.2.6 Autres typologies . . . . .	14
1.3 CYCLE DE VIE D'UN PROJET . . . . .	15
1.4 APPROCHE SYSTEMATIQUE ET LA GESTION DE PROJET . . . . .	19
1.4.1 Notion de système . . . . .	20
1.4.2 Approche systémique dans gestion de projet . . . . .	21
1.5 PRINCIPES GENERAUX D'EVALUATION ET DE SELECTION DES PROJET . . . . .	25
1.5.1 Evaluation et information de projet . . . . .	25
1.5.2 Types des méthodes utilisées dans des projets . . . . .	28
1.5.2.1 Méthode d'évaluation et de sélection des projets R&D . . . . .	28
a Méthode de ratio . . . . .	28

b Méthode d'indices . . . . .	29
c Méthode de programmation . . . . .	30
d Méthode de portefeuille . . . . .	31
e Méthodes matricielles . . . . .	31
f Méthodes de liste du contrôle . . . . .	31
g Méthodes d'arbre de pertinence . . . . .	32
h Méthodes de grilles . . . . .	33
i Méthodes multicritères . . . . .	34
j Méthodes de consensus . . . . .	35
1.5.2.2 Méthodes d'évaluation et de sélection de projets publics . .	35
a Méthode financière . . . . .	36
b Méthode non financière . . . . .	41

## **CHAPITRE 2 FONDAMENTS ET ELEMENTS METHOLOGIQUES D'AIDE A LA DECISION . . . . .**

2.1 PRINCIPES DE LA SELECTION . . . . .	46
2.2 DIFFERENTS CLASSIFICATION DE DECISION . . . . .	47
2.3 MODELE RATIONNEL DE PRISE DE DECISION . . . . .	49
2.3.1 Étape d'intelligence . . . . .	50
2.3.2 Étape de conception . . . . .	51
2.3.3 Étape de choix d'une solution . . . . .	51
2.3.4 Étape d'implémentation . . . . .	52
2.4 SYSTEME D'INFORMATION ET DE SUPPORT A LA PRISE DE DECISION . . . . .	53
2.4.1 Système d'information . . . . .	53
2.4.2 Sources de la prise de décision . . . . .	56
2.4.3 Système d'aide à la décision (SAD) . . . . .	58
2.4.3.1 Élaboration d'instruments d'aide à la décision . . . . .	58
2.4.3.2 Composant d'un système d'aide à la décision . . . . .	60
2.5 INFORMATION ET LA RECHERCHE OPERATIONNELLE . . . . .	62
2.5.1 Méthodologies de la Recherche Opérationnelle . . . . .	62
2.5.2 Système du processus de la Recherche Opérationnelle. . . . .	64
2.5.3 Modèle et conception des informations . . . . .	66

# CHAPITRE 3 METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE : D'AIDE A LA DECISION MULTICRITERE ET D'OPTIMISATION MULTIOBJECTIFS . . . . . 69

3.1 APPROCHE MULTICRITERE . . . . .	70
3.1.1 Approche multicritère classique . . . . .	70
3.1.1.1 Méthodes de pondération ( <i>weighting methods</i> ) . . . . .	73
3.1.1.2 Théorie de l'Utilité Multiattribut (MAUT) . . . . .	76
3.1.1.3 Méthodes de surclassement . . . . .	79
a Méthode ELECTRE I . . . . .	80
b Méthode ELCTRE II . . . . .	82
c Méthode ELCTRE III . . . . .	82
d Méthode ELECTRE IV . . . . .	82
3.2 METHODE DE PROCEDURE D'ANALYSE HIERARCHIQUE (AHP) . .	84
3.2.1 Principales de la méthode AHP . . . . .	84
3.2.2 Examen théorique de la méthode AHP . . . . .	87
3.2.3 Examen pratique de la méthode AHP . . . . .	89
3.2.4 Test de cohérence sur la matrice A . . . . .	91
3.2.5 Discussion critique de la méthode AHP . . . . .	95
3.2.6 Applications de la méthode dans le domaine de gestion . . . . .	97
3.3 METHODE DE PROGRAMMATION MATHEMATIQUE A OBJECTIF MULTIPLES . . . . .	98
3.3.1 Spécification des méthode multiobjectifs . . . . .	98
3.3.2 Goal Programming généralisé . . . . .	100
3.3.2.1 Goal Programming pondéré . . . . .	102
3.3.2.2 Goal Programming préemptif . . . . .	104

# CHAPITRE 4 PRESENTATION DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SECTEUR ENERGETIQUE INDONESIEN . . . . . 109

4.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE . . . . .	109
4.2 SITUATION ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE DE L'INDONESIE . .	110
4.2.1 Ressources énergétique et la demande globale . . . . .	111
4.2.2 Ressources en énergie premier . . . . .	113
4.2.2.1 Pétrole . . . . .	113
4.2.2.2 Gaz naturel . . . . .	114
4.2.2.3 Charbon . . . . .	115

4.2.2.4	Hydraulique . . . . .	115
4.2.2.5	Géothermie . . . . .	116
4.2.3	Consommation d'énergie . . . . .	116
4.2.4	Production et exportation d'énergie . . . . .	118
4.3	INDUSTRIE ELECTRICITE EN INDONESIE . . . . .	122
4.3.1	Marché d'électricité . . . . .	123
4.3.1.1	Usage spécifique . . . . .	123
4.3.1.2	Usage concurrentielle . . . . .	124
4.3.2	Principaux déterminants de la demande d'électricité . . . . .	124
4.3.2.1	Environnement socio-économique . . . . .	124
4.3.2.2	Politique énergétique . . . . .	125
4.3.2.3	Moyens propres à l'entreprise . . . . .	125
4.3.3	Crise de sous capacité de l'industrie électrique . . . . .	126
4.3.4	Offre et demande d'électricité en Indonésie . . . . .	127
4.3.5	Reformes institutionnelle en faveur de la privatisation . . . . .	129

## **CHAPITRE 5 PROPOSITION UN MODELE D'AIDE A LA SELECTION DES PROJETS: UN CAS DE PROJET ELECTRIQUE . . . . .**

5.1	MODELE DE SELECTION DES PROJETS . . . . .	132
5.1.1	Terminologie et définition des concepts . . . . .	132
5.1.2	Importance du modèle multicritère et multiobjectifs . . . . .	134
5.1.3	Justification de méthode d'aide à la décision utilisée . . . . .	136
5.2	NECESSITE D'INTEGRATION DE METHODE AHP ET DU MODELE GOAL PROGRAMMING . . . . .	137
5.3	DESCRIPTION DU MODELE PROPOSE . . . . .	139
5.3.1	Structure du cadre méthodologique du modèle . . . . .	141
5.3.1.1	Décomposition des élément de la décision . . . . .	143
5.3.1.2	Identification et fixation des critères de la décision . . . . .	144
	a Identification des critères . . . . .	144
	b Fixation des critères. . . . .	145
	c Pondération des critère. . . . .	152
5.3.2	Formulation du modèle Goal Programming 0-1 pour l'optimisation de selection des projets . . . . .	153
5.3.2.1	Présentation de la fonction objectif du modèle . . . . .	155
	a Sous-critères des financiers. . . . .	156
	b Sous-critères d'économiques . . . . .	157

c	Sous-critère de disponibilité des ressources et matière première énergétique à long terme. . . . .	158
d	Sous-critères sur les environnementaux . . . . .	158
e	Sous-critères des stratégies . . . . .	159
5.3.2.2	Présentation de la fonctions des contraintes . . . . .	160
a	Contrainte d'investissement total suivant les périodes de temps de la planification . . . . .	160
b	Contrainte de demande en puissance d'électricité . . . . .	160
c	Contrainte de demande en énergie . . . . .	161
d	Contrainte de réalisation de projet unique . . . . .	161
e	Contrainte de sélection d'un projet rejeté ou accepté 1 ou 0 (binaire entier) . . . . .	161
5.3.2.3	Fonction de vecteur de la réalisation et la structure de priorité des objectifs . . . . .	161
5.3.3	Démarrage d'aide à la sélection des projets . . . . .	162

## **CHAPITRE 6 ANALYSE DES RESULTATS DE MISE EN ŒUVRE DU MODELE D'AIDE A LA SELECTION: ETUDE DE AS DE DEVELOPPEMENT DES PROJETS ELECTRIQUES DU SYSTEME DE JAVA BALI . . . . .166**

6.1	CRITERES D'EVALUATION ET DE SELECTION DU PROJET . . . . .	166
6.1.1	Données et information sur les critères de la sélection des projets. . . . .	166
6.1.2	Définition des critères de la sélection des projets . . . . .	167
6.1.2.1	Critères financiers . . . . .	168
a	Sous-critère: coût total de production électricité . . . . .	168
b	Sous-critère: taux de rentabilité interne (TRI) . . . . .	169
c	Sous-critère : valeur actuelle nette (VAN) . . . . .	169
d	Sous-critère : duré de récupération (DR) . . . . .	170
6.1.2.2	Critères économiques . . . . .	171
a	Sous-critère: création d'emplois . . . . .	171
b	Sous-critère : développement régional . . . . .	172
c	Sous-critère : liens entre les projets et les industrie . . . . .	173
d	Sous-critère : développement des ressource locales . . . . .	174
6.1.2.3	Critères stratégiques de disponibilité des ressources énergétique à long terme . . . . .	175
6.1.2.4	Critères stratégiques. . . . .	176
a	Sous-critère : adaptation des technologies . . . . .	176
b	Sous-critère: assistance technique . . . . .	177
c	Sous-critère : coopération industrielle . . . . .	178
d	Sous-critère : ressources de financement . . . . .	179

6.1.2.5 Critères des impacts sur les environnementaux . . . . .	180
a Sous-critère : qualité de l'eau et du sol . . . . .	181
b Sous-critère : écosystème naturel . . . . .	181
c Sous-critère : pollution de l'air/atmosphérique global . . . . .	182
d Sous-critère : changements sociaux . . . . .	183
6.2 EVALUATION L'IMPORTANCE RELATIVES DES CRITERES . . . . .	183
6.2.1 Pondération de l'importance relative des critères principaux . . . . .	184
6.2.2 Pondération de l'importance relatives des sous-critères . . . . .	184
6.2.2.1 Importance relative des sous-critères financiers . . . . .	185
6.2.2.2 Importance relative des sous-critères économique . . . . .	186
6.2.2.3 Importance relative de sous-critère de disponibilité des ressources énergétiques à long terme. . . . .	187
6.2.2.4 Importance relative des sous-critères stratégiques . . . . .	188
6.2.2.5 Importance relative des sous-critères l'impact environnement . . . . .	189
6.2.3 Évaluation des priorités relative aux critères de sélection des projets considérer . . . . .	190
6.2.4 Analyse de la cohérence de l'ensemble des jugements . . . . .	192
6.2.5 Évaluation des projets proposés . . . . .	193
6.3 ANALYSE DE LA SOLUTION DU MODELE D'INTEGRATION DE LA METHODE AHP ET LE MODELE GOAL PROGRAMMING . . . . .	194
6.3.1 Solution sur les données de base . . . . .	194
6.3.2 Analyse de sensibilité . . . . .	197
6.3.2.1 Analyse à une variation des contraintes . . . . .	197
6.3.2.2 Analyse à l'importance relatives des critères variés . . . . .	201
<b>CHAPITRE 7 CONCLUSION.</b> . . . . .	206
7.1 SOMMAIRE . . . . .	206
7.2 CONTRIBUTION ET LIMITATION . . . . .	208
7.3 PERSPECTIF DE RECHERCHE FUTURE. . . . .	210
<b>LISTE DE REFERENCES</b> . . . . .	212
<b>ANNEXES</b> . . . . .	227



# LISTE DES TABLEUX

page

## CHAPITRE 1

Tableau 1.1 Quelques définition un projet . . . . .	10
1.2 Sources d'information concernant l'évaluation des projets .	28
1.3 Sommaire des avantages et des désavantages des méthodes financière pour l'évaluation des projets. . . . .	40

## CHAPITRE 2

Tableau 2.1 Degré de structuration de problèmes et des systèmes de support décision. . . . .	55
2.2 Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision . . . . .	61

## CHAPITRE 3

Tableau 3.1 Comparaison méthode MADM et MODM . . . . .	73
3.2 Problématique de référence dans la prise de décision multicritère . . . . .	80
3.3 Echelle des valeurs utilisées par Saaty . . . . .	87
3.4 Convertisseur du modèle Goal Programming . . . . .	101

## CHAPITRE 4

Tableau 4.1 Prévision de la réserve de sources d'énergie premier en Indonésie .	113
4.2 Consommation d'énergie premier en Indonésie pour les années 1985-1997 (Mtep) . . . . .	117
4.3 Production et contribution par source d'énergie premier en Indonésie (Mtep) . . . . .	119
4.4 Croissance du PIB et de la consommation d'électricité en Indonésie (Période 1980-1996) . . . . .	126
4.5 Projection de la consommation totale d'électricité et la production énergie électrique en Indonésie fournie par la PLN . . . . .	128
4.6 Chronologie de la privatisation des industries électrique en Indonésie . . . . .	131

## CHAPITRE 6

Tableau 6.1	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des critères principaux . . . . .	184
6.2	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des sous-critères financières . . . . .	186
6.3	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des sous-critères économiques . . . . .	187
6.4	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des sous-critères disponibilité de ressources énergétiques. . . . .	188
6.5	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des sous-critères stratégiques . . . . .	189
6.6	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble des sous-critères de l'impact sur l'environnement . . . . .	190
6.7	Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité de l'ensemble sous-critères hiérarchisé de sélection des projets. . . . .	191
6.8	Résultats de l'indice d'incohérence de l'ensemble attache aux jugements fournies par les répondants correspondants. . . . .	193
6.9	Projection de la demande en puissance de capacité et en énergie électrique pour la période du plan 2001-2004 du système de Java Bali . . . . .	195
6.10	Résumé des différentes projets sélectionnés et ses calendriers (Basé sur les résultats du modèle et la "Corporate Plan" de la PLN) . . .	196
6.11	Solution de mise en œuvre du modèle effectué (Résultats de l'optimisation des objectives quantifiables) . . . . .	197
6.12	Comparaison des valeurs optimums des objectives quantifiables (la solution des scénarios diverses) . . . . .	198
6.13	Résumé de la solution de mise en œuvre du modèle effectué aux données des scénarios des contraintes variées: les projets sélectionnées et les calendriers pour service l'année de 2002/4 . .	200
6.14	Variations des poids relatif des critères principaux pour faire d'analyse sensibilité . . . . .	202
6.15	Solution des objectives quantifiables: la variation des poids où le critères de l'impact dur l'environnement fixée plus forte que les autres . . . . .	202
6.16	Solution des objectives qualitatifs : la variations des poids où le critère économique fixée plus forte que les autres . . . . .	204

# LISTE DES FIGURES

page

## INTRODUCTION

Figure 1 Présentation du contenu et plan de la thèse . . . . .	8
--	---

## CHAPITRE 1

Figure 1.1 Phase de pré-investissement, d'investissement et d'opérationnelle en cycle de vie du projet . . . . .	17
1.2 Cycle de vie d'un projet . . . . .	18
1.3 Modèle de gestion du risque au cycle de vie d'un projet . . . . .	19
1.4 Découpage de la gestion de projet en sous-système . . . . .	22
1.5 Le projet comme un système . . . . .	24
1.6 Arbre de pertinence . . . . .	33

## CHAPITRE 2

Figure 2.1 Mécanisme de régulation en prise de décision . . . . .	47
2.2 Relation de classification de type de décision . . . . .	48
2.3 Mécanisme de la prise de décision de Simon . . . . .	50
2.4 Etapes de la prise de décision et la catégorisation du système d'information . . . . .	53
2.5 Typologie de l'information . . . . .	55
2.6 Eléments du système d'aide à la décision (SAD) . . . . .	59
2.7 Eléments d'interaction dans le processus de la Recherche Opérationnelle . . . . .	65
2.8 Conceptuel de l'information dans la Recherche Opérationnelle . . . . .	67
2.9 Processus d'information dans la Recherche Opérationnelle . . . . .	68

## CHAPITRE 3

Figure 3.1 Approches opérationnelle et méthodes . . . . .	72
3.2 Décomposition hiérarchique pour choix d'un partenaire (exp.) . . . . .	85
3.3 Tableaux nécessaires au calcul des contributions selon la méthode de l'AHP . . . . .	86
3.4 Diagramme de la méthodologie AHP . . . . .	93
3.5 Diagramme de la méthodologie AHP (suite) . . . . .	94
3.6 Étapes des transformation les objectifs dans Goal Programming . . . . .	101

## CHAPITRE 4

Figure 4.1	Flux des sources et de consommation énergétique Indonésien . . .	112
4.2	Consommation d'énergie en Indonésie par source premier. . . . .	118
4.3	Production d'énergie en Indonésie par source premier . . . . .	119
4.4	Exportation pétrolier nette (1985-1997) . . . . .	120
4.5	Part de l'exportation du pétrole dans les exportation . . . . .	120
4.6	Part de l'exportation du pétrole dans le revenu total Indonésien . .	121
4.7	Croissance de la puissance électrique installé par source d'énergie premier en Indonésie fournie par la PLN . . . . .	128

## CHAPITRE 5

Figure 5.1	Procédure général du modèle d'aide à la sélection . . . . .	142
5.2	Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électrique . . . . .	147
5.3	Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite1) . . . .	148
5.4	Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite 2) . . . .	149
5.5	Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite3). . . . .	150
5.6	Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite 4) . . . .	151
5.7	Flux d'information dans d'aide à la sélection proposée . . . . .	165

## CHAPITRE 6

Figure 6.1	Représentation graphique de la " <i>Cross Effect Matrix</i> " de la solution optimale du modèle avec les scénarios des valeurs des contraintes variées . . . . .	199
6.2	Analyse de sensibilité des poids des critères : les résultats optimal des objectifs quantifiable à atteindre . . . . .	203
6.3	Analyse de sensibilité des poids des critères : les résultats optimal des objectifs qualitatif à atteindre . . . . .	205

## LISTE DES ANNEXES

page

### **ANNEXE-I QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION FOURNIE PAR LES REpondANTS ENVISAGES AUX IMPORTANCES RELATIVES DES CRITERES, DE SOOU-CRITERES OU DES INTENSITE DES CRITERES A UNS AUTRES EUX**

Tableau 1.1 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: but du choix des meilleurs projets) . . . . .	227
1.2 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: les sous-critère financier) . . .	228
1.3 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: le sous-critère économique) . .	228
1.4 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: le sous-critère disponibilité ressources énergétique) . . . . .	229
1.5 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: le sous-critère sur les impacts environnementaux) . . . . .	229
1.6 Evaluation fournie par les répondants concernés aux préférences relative des éléments de décision comparés deux à deux (Niveau hiérarchique de décision considérée: le sous-critère stratégique) . . .	230

### **ANNEXE-II EVALUTION DES PROJETS PROPOSES POUR CHACUN DE CRITERES QUALITATIFS RETENUS PAR LES REpondANTS ENVISAGES**

Tableau 2.1 Evaluation de critère de financement (qualitatif) sur le projet proposés	231
2.2 Evaluation de critère économique (qualitatif) sur les projet proposé .	232
2.3 Evaluation de critère sur les impacts environnementaux (qualitatif) sur les projets proposés. . . . .	233
2.4 Evaluation de critère stratégique (qualitatif) sur les projets proposés	234

### ANNEXE III    DONEES RELATIVES A CHACUN DES PROJETS   PROPOSE   ET CHAQUE DE TYPE DU SYSTEME CENTRAL ELECTRIQUE

Tableau 3.1	Listes des projets   centraux électriques du système de Java -Bali proposé à mise en service en période de l'an 2000/5 . . . . .	235
3.2	Coût d'investissement, coût de la production énergie d'électricité en charge de point des projets proposés du système de Java-Bali. . . . .	236
3.3	Projection de la demande en énergie d'électricité du système de central électrique de Java Bali ( par secteur et en scénario de la de la croissance de demande moyenne). . . . .	237
3.4	Coefficient des émissions des polluants (pollution de l'air et atmosphérique globale) des projets électriques Indonésien pour chaque type des sources matériel primer énergétique. . . . .	238
3.5	Caractéristique des facteurs de puissance électrique disponible ( $\alpha$ ) pour chaque type du système central électrique. . . . .	238
3.6	Facteurs de charge de demande en énergie d'électricité pour chaque de type des charges de puissance. . . . .	239

# INTRODUCTION

## GENERALITIES

La sélection d'un projet occupe une place importante dans les tâches des décideurs tant en secteur privé que public, dans une entreprise privée ou dans un département du gouvernement (projet public).

Les décideurs ou managers qui ont des responsabilités pour évaluer et sélectionner des projets feront face au même problème : Ils ont plus de projets potentiels à réaliser qu'ils ont de ressources pour les effectuer. Donc, ils doivent sélectionner des projets parmi les nombreux projets proposés.

L'échec d'une sélection de projet conduit à deux conséquences. La première quand les ressources sont dépensées pour des projets "pauvres". Cela équivaut à consacrer des ressources pour un peu ou pas de gain. Cela conduit alors à ne pas pouvoir affecter des ressources sur des projets marginaux qui auraient pu réussir, ou a conduit à ne pas prendre en compte des projets nouveaux intéressants par manque de ressource.

Consacrer des ressources sur des projets pauvres non seulement fait perdre des ressources, mais aussi les bénéfices qui pourraient avoir été réalisés si les ressources avaient été mises sur de bons projets. Là, sélection des meilleurs projets devient, à cause de ces implications, une décision critique pour le responsable.

Beaucoup d'auteurs se sont penchés sur les problèmes de sélection et d'évaluation des projets tant publics que privés. Les recherches dans le domaine du Génie Industriel, de la Gestion Industrielle de Projet et dans la Recherche Opérationnelle en tant que domaine de Science Economique ont conduit à la publication d'articles d'écrivant des méthodes de sélection de projet.

Concernant l'évaluation de la sélection des projets dans le domaine de la recherche et du développement (R & D), de très nombreuses méthodes ont été développées [BAKER] et FREELAND [1975], SOUDER [1978], CASTELLO [1983], DANILA [1989], CUEILLAR [1992], MOHANTY [1992], ETTINGER [1995], BOHANEK [1995], COFFIN - TAYLOR [1996], MARTINO [1996]. Cependant, ces modèles ne prennent pas en compte les exigences sociales, économiques, environnementales et du



développement national des projets sélectionnés. Ainsi, ces méthodes ou modèles sont adressés uniquement de manière générale et évaluer des projets privés notamment les projets de R & D.

Pour mener à bien la phase d'évaluation et de sélection dans le cycle de vie d'un projet public, un certain nombre d'organismes internationaux et d'institutions des pays industrialisés chargés de l'élaboration ont utilisé des méthodes comme celle de L'ONUDI [UNIDO, 1991], la méthode de Squire et Van der Tak et de la méthode des effets (CHERVEL [1977] et [1995], LITTLE et MIRRELEES [1974], GARRABE [1994] et GENNE [1996]).

L'Organisation pour la Coopération et le Développement Economique (OCDE) et l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel ont patronné des manuels relatifs à l'évaluation des projets [UNIDO, 1991]. Ces manuels parlent des différentes variantes de projets que l'on pourrait en principe envisager, mais sans indiquer sur la base de quelle méthode de tels choix rationnels devraient être effectués. En plus, l'analyse est habituellement basée sur des méthodes d'évaluation économiques traditionnelles où seuls les aspects financiers entrent en ligne de compte.

Cependant, en pratique, ces méthodes sont inadaptées aux réalités des projets publics pour des pays dans en situation économique turbulente comme l'Indonésie de l'année 1998. En ce moment par exemple, à cause de la crise finance en l'Indonésie à partir de l'année 1997, la roupie a plongé de 80 % en un an, l'inflation s'élève à 96 %, le chômage monte à 20 % et l'économie risque de se contracter autour de 20-30 %. Ces la remarques sur la réduction des budgets et ces changements brutaux de paramètres interagissent fortement avec la planifications des projets.

La nécessité de réévaluation, ré-sélection et de rétablissement du calendrier des projets candidats à cause des changements des paramètres des projets est une nécessité. Il n'existe aucune approche qui peut donner une **décision informationnelle importante** et ses conséquences sur lesquelles le décideur vise à prendre sa décision. En effet, Il est évident que nous avons besoin d'un outil qui peut produire une telle information pour faciliter la procédure d'évaluation et de sélection des projets.

La plupart des méthodes d'évaluation et de la sélection de projets connues et pratiquées concernent l'évaluation ex-ante pour sélectionner des projets. Aucune des

méthodes trouvées n'envisage la résolution du problème de la sélection en prenant en compte les objectifs sociaux, économiques, politique , environnementale, et ses contraintes dans la même temps.

Le champ méthodologique d'évaluation et de sélection nécessaire étant celui de la mesure des effets reçus en commun, il conviendrait qu'elle permette de mesurer tous les types d'effets quantitatifs et qualitatifs, monétaires et non monétaires, économiques et sociaux, environnementale, situés dans l'espace et le temps, dus à un projet ou à un programme donné.

Cette évaluation n'est souvent qu'une confrontation des résultats obtenus, avec les critères retenus lors de l'évaluation. L'évaluation en cours, quant à elle, doit prendre en considération tous les critères, les objectifs et le calendrier (ordonnancement) du projet. Il n'existe pas de véritable méthode qui s'attache à l'évaluation et qui en même temps considère le problème de l'ordonnancement et de la limitation des ressources.

Donc, ce qu'on va bâtir est un modèle d'aide à la sélection de projet qui pourra résoudre de ces problèmes.

## CONTEXTE DE L'ETUDE

Nous intéresserons ici aux projets publics concernant en particulier la catégorie des projets énergétiques, tels que les projets d'investissement de nouvelles centrales électriques Indonésiennes planifiées pour servir à partir de l'année 2003.

La crise financière a touché l'Indonésie au mois de juillet 1997, le budget a été révisé , pour prendre en compte des options beaucoup plus réalistes. L'économie se fonde sur une croissance moins 3 % à l'année 1998 et prévoit moins 1,0 % et plus 2 % pour les années 1999 et 2000. Donc, cela a changé de toute planification stratégique du développement, elle est plus restrictive. Un grand nombre des projets d'infrastructures devraient être également suspendus sans exception des projets électriques.

Traditionnellement, en Indonésie pour évaluer et sélectionner un projet public de manière globale, ils utilisent l'approche d'évaluation économique de la décision collective relient un certain nombre de critères financières tels que l'analyse coût -avantages, le

taux de rentabilité, le délai de récupération [ADB, 1993 et BAPPENAS, 1995]. Cela n'est plus insuffisante approche notamment en période de crise.

Quand les projets à sélectionner, sont soumis à des critères, à des contraintes à des objectifs spécifiques, quand les budgets globaux pour développer des projets et les demandes sont restreints, l'administrateur de projets doit répondre prioritairement aux questions suivantes (i) Quels sont les projets candidats à sélectionner ou annuler; (ii) Quels objectifs à achever ou non achever à cause de la fluctuation budgétaire et de la décroissance de la demande en énergie électrique (dans notre cas)

La pratique développée dans la sélection de projets en Indonésie montre que les méthodes étaient inadaptées aux réalités des problématiques [ZUHAL, 1995]. Il y avait une inadéquation entre les méthodes d'évaluation et les réalités des projets en développement. En fait, les administrateurs des projets en développement reprochent aux techniques d'évaluation:

- de ne pas tenir suffisamment compte des objectifs propres aux pays en développement ( emploi, formation, transfert technologique, développement industriel) et des particularités environnementales liées aux lieux d'implantation des projets.
- des méthodes d'appréciation et des techniques d'évaluation disponibles basés sur des hypothèses trop fortes qui ne sont pas conformes à la réalité d'aujourd'hui.
- de ne pas tenir suffisamment compte des objectifs propres au développement intégré, visant tous les aspects du développement.
- de ne pas intégrer dans l'analyse de nombreux projets plusieurs aspect de leur impact sur l'économie nationale, les aspects sociaux, humains, régionaux , écologiques etc.

D'où, il est nécessaire de mettre au point de nouveaux instruments d'appréciation et de sélection des projets utilisant des critères qualitatifs et quantitatifs plus convenables au contexte particulier des projets publics.

## OBJECTIFS DE CETTE THESE

Les problèmes que nous avons brièvement exposés par avant nous encouragent pour développer une recherche de nouveaux instruments plus appropriés au contexte particulier des projets spéciaux dans le cas de l'Indonésie. D'où notre contexte est relié en particulier à la sélection des projets électriques Indonésiens dans limitation budgétaire, les changements des paramètres de planifications.

Donc, l'ambition de ce travail est de contribuer à une évaluation de la sélection des projets publics, à partir d'une étude de faisabilité. Cela nous permet d'envisager des points de vue collective et de planification des ressources intégrales dans un système d'aide à la décision pour évaluer et sélectionner des projets. Pour ce faire, nous proposons et utilisons une démarche d'un système d'aide à la décision cohérente dans une vue multicritère et objectifs poursuivis multiples.

Cette approche a en effet, le mérite d'offrir aux décideurs du gouvernement chargés de la modélisation des références de la collectivité la possibilité:

- d'identifier les critères quantitatifs et qualitatifs de projets sélectionnés qui sont conflictuels et les systèmes de valeur des différents décideurs.
- de prendre en considération pour évaluer les projets publics l'ensemble de conséquences qu'ils engendrent, qu'ils soient quantifiables ou non d'après des spécialistes du gouvernement.
- de développer une approche systématique d'une manière intégrée qui permettra d'évaluer de plusieurs projets proposés, la gestion des ressources et les ordonnancements en s'attachant au respect des objectifs fixés .

Nous sommes donc fixé comme objectifs spécifiques principaux de cette thèse un double intérêt c'est-à-dire (i) intérêt au niveau théorique et (ii) intérêt au niveau pratique :

- d'intégrer les éléments de la théorie de gestion de projet (projet évaluation), d'approche systémique et multicritère et de recherche opérationnelle permettant d'orienter les décisions de choix et de se classer les projets conformément au buts de développement.
- de proposer d'un système d'aide à la décision combinant la méthode de multicritère et de programmation mathématique à objectif multiple qui nous permettent de résoudre le problème complexe de la sélection, de prendre en

considération tous les éléments quantifiables et non-quantifiables liés aux projets et ainsi de mieux gérer l'ordonnancement (pour calendrier) des projets sélectionnés en respectant des contraintes et en achevant les objectifs poursuivis.

- de fournir l'information utile aux décideurs et le savoir-faire comment pour réaliser une intégration des analyses d'évaluation des projets, l'optimisation et l'ordonnancement . Très souvent dans le cas indonésien, ils prennent souvent la décision en premier, et recherchent l'information la justification après.

## **METHODOLOGIE**

Pour évaluer les projets de façon rationnelle, on doit utiliser plusieurs critères en tenant compte de plusieurs contraintes et objectifs. C'est pourquoi, l'ambition de cet objectif principal oriente notre recherche vers l'étude et l'élaboration de modèles multicritères et de modèles multiobjectifs qui deviennent la base du système d'aide à la décision développé.

La méthodologie spécifique pour le faire dans l'étude que nous proposons, comporte les quatre étapes principales suivantes:

### **ETAPE 1 : Identification et études des critères sélection des projets**

- Apprendre, à confronter les points de vue multicritères et les finalités, relatives à un problème de sélection des projets .
- Décomposer les éléments d'un processus de décision en tenant compte des objectifs et des critères de sélection de manière globale.
- Définir précisément les objectifs, les critères, les sous critères et l'intensité qualitative des sous -critères des projets concernés.

## **ETAPE 2 : Détermination et quantification des éléments de décision**

- Pondérer des éléments de décision pertinents (des objectifs, des critères et de sous critères) par la Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP).
- Evaluer chaque projet sur chaque critère, sous-critère et bien intensité de sous critère qualitatif par une discussion destinée à éliminer les malentendus, de parvenir à une matrice d'évaluation d'ensemble des projets envisageables.

## **ETAPE 3 : Optimisation de programmation mathématique à objectifs multiple**

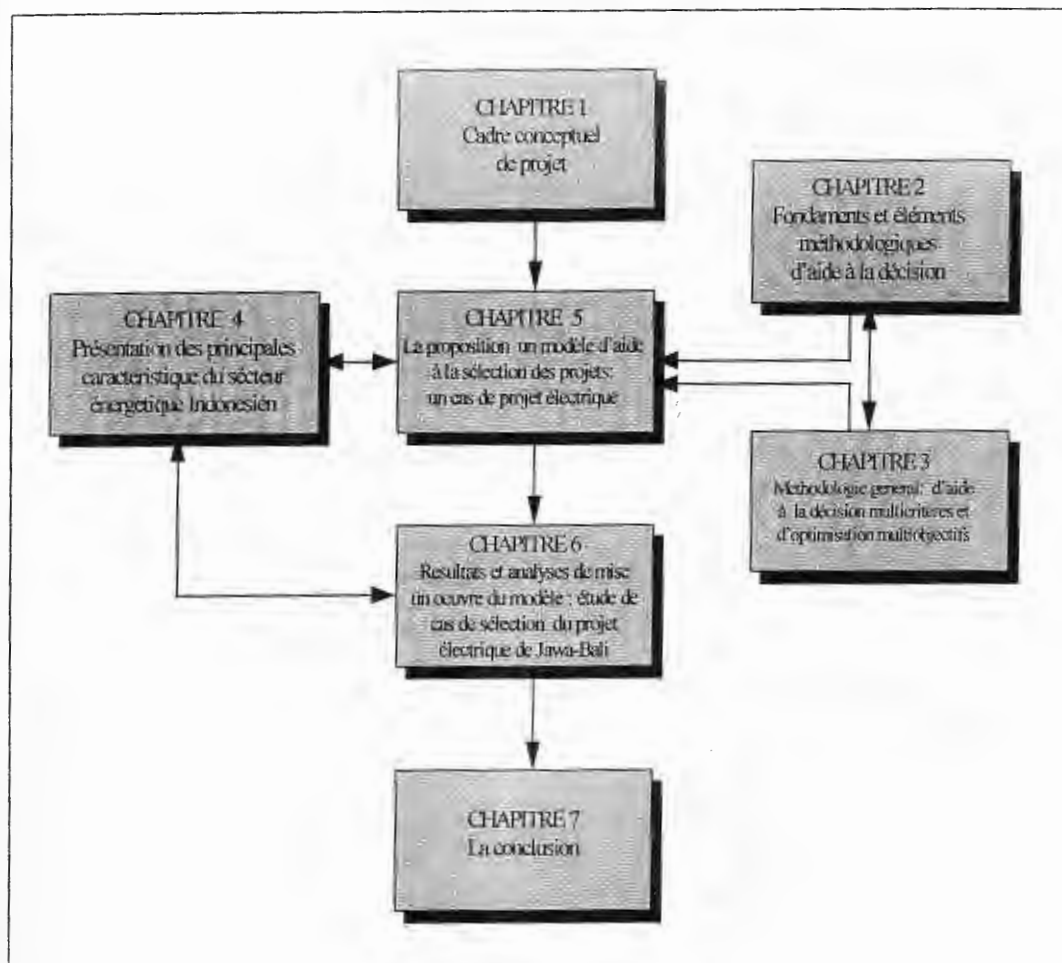
- Construire un modèle d'optimisation de la programmation mathématique à objectifs multiple du "Goal Programing" qui prend en compte les variables de décision de choix , et de calendrier de projet en satisfaisant aux objectifs prédéterminés et en respectant aux contraintes variées.

## **ETAPE 4 : Mise en oeuvre de modèle développé**

- L'utilisation du modèle d'aide à la décision développé constitué par l'intégration du modèle multicritère de la Procédure d'Analyse Hiérarchique et du modèle du "Goal Programming" pour choix et calendrier les projets électriques de système Java-Bali en Indonésie
- L'analyse de sensibilité des résultats de la solution optimale du modèle

## **PLAN DE LA THESE**

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude , le contenu de ce travail sera présenté dans en sept chapitres principaux. La présentation générale du contenu de la recherche peut être schématiquement illustrée par la figure suivante:



**Figure 1** Présentation du contenu et plan de la thèse

Dans le premier chapitre intitulé le cadre conceptuel de projet, qui est une revue de la littérature, nous allons étudier les principaux concepts et théories importantes sur l'évaluation de projet, présenter les méthodes d'évaluation, les modèles importants liés au système étudié ainsi l'évaluation et la sélection des projets concernant le secteur public. Le chapitre comporte une étude approfondie du principe fondamental, des concepts et théories de l'évaluation de projet. Ce chapitre tente aussi de définir quelques termes utilisés dans la gestion de projet.

Le deuxième chapitre présente les fondements et les éléments de méthodologie d'aide à la décision. Ainsi on élabore les notions dans la littérature multicritère, recherche opérationnelle et système d'aide à la décision, information et sélection de projets liés à la



veille stratégique et économique utilisée pour le développement de l'aide à la décision.

La troisième chapitre comporte une étude approfondie notamment d'aide à la décision multicritère de la méthode Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP) et d'optimisation multiobjectif du "Goal Programming" que nous avons proposé comme la méthodologie générale de nos travaux pour l'optimisation et la sélection de projets.

Le quatrième chapitre consiste à mener une analyse empirique des principales caractéristiques du problème énergétique électrique en Indonésie. Ceci nous a permis de bien comprendre la problématique et l'importance de ce secteur pour le développement du pays.

Le cinquième chapitre a pour but de construire un modèle d'aide à la sélection qui consiste à intégrer méthode AHP et le modèle d'optimisation à objectif multiple du "Goal Programming". Nous voulons montrer dans cette thèse que le rapprochement de deux méthodologies i.e. modèle multicritère de l'AHP et modèle du "Goal Programming" permettrait à chacune d'elles de s'enrichir d'outils et de méthodologies spécifiques à leur développement. Ce modèle pourrait fournir à des responsables de projet un aide considérable pour comprendre tous les aspects du problème qui permettraient de prendre en compte tous les critères qualitatifs ou les critères quantitatifs pertinents.

Dans le sixième chapitre, nous montrons comment le modèle proposé a été mis en œuvre dans des cas réels de la sélection des projets électriques Indonésien du système de Java-Bali. L'information décisionnelle, les résultats obtenus par de l'application sont analysés. Ce travail comportera également la mise en état des simulations et des analyses de sensibilité en considérant une variation des paramètres du modèle et des contraintes.

En fin, dans le septième chapitre à partir duquel on développera la conclusion. Nous allons décrire la synthèse de cette recherche et envisager les perspectives que celle-ci ouvre pour la recherche future pour améliorer les performances du modèle d'aide à la sélection de projet en milieu turbulent et instable.

## CHAPITRE 1



### CADRE CONCEPTUEL DE PROJET

Avant de décrire le contenu et de concevoir l'aide à la sélection des projets proposé que nous allons mettre en œuvre à la problématique de la sélection des projets électriques de l'Indonésie, il semble intéressant dans un premier temps, de présenter certaines notions et citations sur le sujet, les définitions, les concepts et les méthodes d'évaluation et de sélection d'un projet ainsi les terminologies pertinentes qui sont utilisés dans ce travail.

#### 1.1 DEFINITION D'UN PROJET

Il n'est pas facile de donner une définition précise à la notion de projet. Le concept de projet a fait l'objet de plusieurs définitions limitatives qui varient selon les acteurs. C'est pourquoi nous en trouvons plusieurs définitions les exposé dan le tableau suivant.

**Tableau 1.1** :Quelques définitions d'un projet

Auteur et Référence	Définition d'un projet
Le Dictionnaire de Hachette [1993]	C'est ce qu'on propose
Chervel et Le Gall [1976]	Comme ensemble de moyens mis en oeuvre de façon coordonnée dans le but d'atteindre un objectif économique fixé au préalable
Declerk et.al.[1980]	Un ensemble d'action limitée dans le temps et en interaction avec un environnement dans lequel le projet est réalisé
Cleland et King [1983]	<i>"a complexe effort to achieve an objective within a schedule and budget target which typically cuts across organizational lines, is unique and is usually not repetitive within the organization"</i> .
Bridier et Serge [1995]	est un ensemble complet d'activités et d'opérations qui consomment des ressources limitées (telles que main d'oeuvre, devises etc.) et dont on attend (on = certains individus, groupes ou classes ou collectivités entières) des revenus ou autres avantages monétaires ou non monétaires.

Badiru [1992]	une séquence unique et technologiquement déterminée d'activités généralement non répétitives. Il comporte de multiples ressources (humaines, matérielles, financières et savoir-faire) qui représentent une part significative de la capacité de l'organisation qui y participe
Giard [1991]	une démarche spécifique qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir et mis en oeuvre pour élaborer une réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et qui implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données
O'Shaughnessy [1992]	un processus unique de transformation de ressources ayant pour but de réaliser d'une façon ponctuelle un extrait spécifique répondant à un ou des objectifs précis, à l'intérieur de contraintes budgétaires et temporelles.
La Banque Mondiale [1992]	un ensemble optimal d'action à caractère d'investissements fondée sur une planification sectoriel globale et cohérente, grâce auquel une combinaison définie de ressources humaines et matérielles engendre un développement économique et social d'une valeur déterminée.



Ces principales références donnent le concept global de projet. Cependant elles sont quasi générales puisque, dans la pratique, on retrouve des formes diverses sous l'appellation de "projet", ne répondant pas entièrement à cette définition.

Ainsi, d'un point de vue collective nationale d'un pays, peut-on résumer les caractères des projets de développement comme suit:

- le projet doit être un ensemble optimal d'actions à caractère d'investissement basées sur une planification sectorielle cohérente au niveau régional ou national.
- le projet doit avoir un but bien déterminé en fonction du plan de développement du pays (production directe, industries etc.) et de l'amélioration sociale (social, santé, urbanisme, éducation etc.)
- les éléments du projet en matière de main d'ouvrier, administration, localisation, financement, coûts doivent être définis.

Pour CHERVEL et GALL [1976], nous ils ont précisés et ajouté que la notion de projet (C/O. projets publics) fait intervenir plusieurs éléments comme les suivants:

- éléments volontaires : il s'agit d'une opération décidée clairement par une certaine instance (promoteur privé, entreprise d'Etat) dans un certain but.



- élément temps: c'est une opération qui va se dérouler dans le temps, entre la date de mise en oeuvre des moyens et la date où l'objectif sera atteint
- éléments de complexité: c'est une opération complexe, qui nécessite la mise en oeuvre de moyens divers, une programmation dans le temps.
- élément de finalité: le but à atteindre, défini au préalable est de nature économique, il s'agit de produire un bien ou un service.

Il s'avère donc nécessaire d'adapter un mode de gestion spécifique aux différents types de projets afin de prendre en compte toutes les caractéristiques du projet et en particulier, son incertitude et sa complexité. C'est pourquoi, nous allons présenter ces différents types de projets.

## 1.2 CLASSEMENT DES PROJETS

Les caractéristiques des projets sont diverses. Les classifications qu'on peut trouver dans la littérature sont de nombreuses

### 1.2.1 CLASSEMENT PAR LES FINALITES

Ce sont les classements les plus courants, ils peuvent être présentés de diverses manières:

- suivant la nature des biens ou service produit : projet de production de biens matériels et projets de production de service
- suivant le type de consommation auquel le produit donne lieu : projets de production à la demande intérieure et projets d'exportation, projets économiques et projets sociaux, projets de production marchande et projets de production non marchande (projet vivier)

### 1.2.2 CLASSEMENT PAR RAPPORT AU TEMPS

C'est ce qui sépare la mise en oeuvre des moyens et l'obtention des résultats:

- projets de production immédiate (projet industriel) et projets de production différée.

- projets supposant un important investissement (forte intensité capitalistique, longue durée de vie et d'amortissement) et projet n'entraînant qu'un investissement modéré (amortissement rapide).

### **12.3 CLASSEMENT D'APRES L'ARTICULATION D'UN PROJET AVEC D'UN AUTRE PROJET**

#### **12.3.1 Réalisation d'un projet peu affecter de deux manières la réalisation d'un autre projet**

Elle peut empêcher la réalisation de cet autre projet :

- les projets dits techniquement compatibles: les projets réalisables simultanément à la condition que des moyens suffisants soient disponible
- les projet dits techniquement incompatibles: les projets qui ne peuvent être réalisés simultanément par suite de leurs résultats. Ainsi, certains projets ne pourront être réalisés parce que la dimension du marché existant est trop faible.

#### **12.3.2 Réalisation d'un projet nécessitant la réalisation d'un autre projet**

- les projets indépendants sont le projets qui sont techniquement réalisables séparément ou simultanément
- les projets dépendants sont les projets qui ne prouvent être réaliser que conjointement

### **12.4 CLASSEMENT POUR LE PROJET INDUSTRIEL**

Basée principalement sur les buts visés par les projets, O'SHAUGHNESSY [1992]

les a regroupé en quatre classes distinctes:

- Projets relatifs à la fabrication d'un nouveau produit et à l'expansion de l'entreprise. Projets nécessitant des investissements pour modifier le processus actuel de fabrication ou procéder à l'implantation de nouvelles installations de production.



- Projets relatifs à l'amélioration des installations et équipements pour accroître l'efficacité de la production. Projets visant à augmenter la production, à réduire les coûts de production, à améliorer la qualité des produits existants ou à réduire les coûts énergétiques
- Projets relatifs au maintien des installations, des équipements et de la propriété. Projets impliquant des réparations d'importance pour maintenir en bon état de fonctionnement les installations, les équipements et les bâtiments en place
- Projets relatifs à l'environnement et à la sécurité. Projets visant à se conformer aux normes de l'environnement et de la sécurité du travail ainsi que les projets ayant pour but d'améliorer les conditions de travail.

## 1.2.5 CLASSEMENT DES PROJETS PAR RAPPORT A L' INITIATEUR

Il est très important de classer les projets selon leur initiateur. Ce classement est important, car la phase évaluation se présentera d'une manière différente selon les initiateurs. Ainsi pour la préparation du dossier, son contenu, les moyens et mesures à prévoir pour la mise en place du projet pourront être différents:

On peut distinguer trois types de projets existant selon leur initiateur:

- projets émanant d'entreprises privées, nationales ou étrangères, dont le but est la recherche de bénéfices
- projets émanant d'entreprises publiques ou de secteur d'Etat, dont le but est de satisfaire un besoin ou encore d'assurer un meilleur service public
- projet émanant d'organisations internationales d'aide au développement dont le but est souvent du deuxième type. En cas de financement mixtes, on peut retrouver mêlés à la fois des objectifs de type public et des objectifs de recherche de bénéfice).

## 1.2.6 AUTRES TYPOLOGIES

MILLER [1988] a distingué trois types de projets existant comme les suivants :

### • Projet push

Le projet push est un projet exploratoire, dont les objectifs sont en général flous au départ. Ces objectifs se structurent au fur à mesure de la recherche pour déterminer un

certain nombre de possibilités techniques. Le moteur d'un projet push est généralement la recherche de nouvelles technologies.

- **Projet pull**

Le projet pull est, par contre, un projet finalisé sur une application ou sur des problèmes techniques parfaitement identifiés. Il se fédère très rapidement sur un concept de produit qui fera l'objet d'une exploitation économique et commerciale. "C'est un projet tiré par le marché".

- **Projet push - pull**

Le projet push- projet pull, à la frontière des deux catégories, est confronté d'une manière plus sensible aux pressions de l'interface recherche/marketing. Un projet de ce type est considéré, selon les forces exercées, comme un projet push ou comme un projet pull.

En regard de ces nombreuses typologies de projets et quant à notre travail, on emploie le mot projet pour désigner un investissement au plan du développement de l'énergie électrique. Le projet est alors considéré comme étant l'un des moyens essentiels de mobiliser les ressources (humaines, matérielles, technologiques, ressources naturelles etc.) qu'un pays est susceptible d'investir dans le développement.

### 1.3 CYCLE DE VIE D'UN PROJET

Il existe plusieurs façons de séparer un projet en différentes étapes. Pour cette étude, nous allons décrire quelques l'approches théorique.

La notion d'horizon temporel qui caractérise le concept "projet" fixe implicitement un point de départ et un point d'arrivée. La trajectoire que suit le projet entre ces deux points est définie comme étant le cycle de vie de projet.

Le cycle de vie représente les différentes phases franchies par le projet ainsi que les diverses activités qui le composent. Il schématise le processus du développement d'un projet.

Pour définir ce processus de développement, plusieurs auteurs ont proposé de nomenclatures différentes. Par exemple, ADAMS [1979] propose quatre phases distinctives: la Conception, la Planification, l'Exécution et la Terminaison. Ces quatre phases ont été par la suite reprises par WEBSTER [1978] avec comme toile de fond cinq projets de type différent. Les projets de recherche fondamentale, les projets de recherche appliquée, les



projets de développement, les projets de construction et les projets qu'il appelle des systèmes globaux.

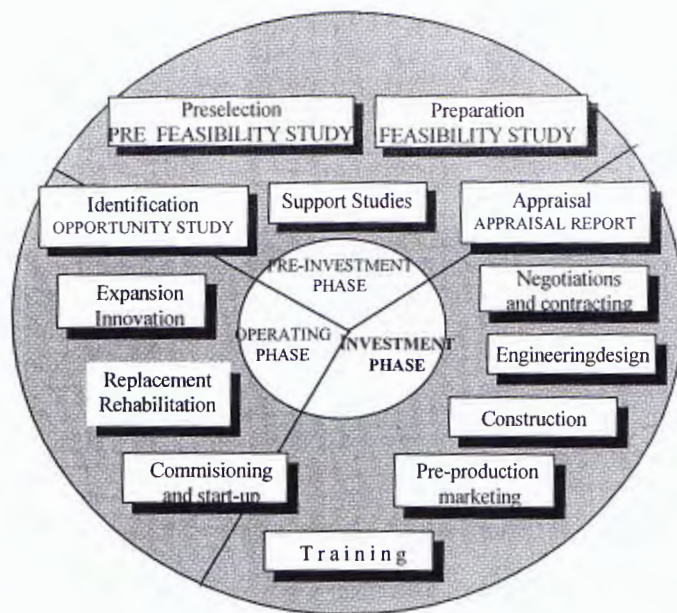
Nous remarquons dans cette analyse que les phases retenues par ADAMS et reprises par Webster varient selon le type de projet et que seules les activités à l'identification des besoins et à la fin du projet sont présentes dans chacune des catégories énumérées.

De cette manière, si nous comparons un projet de recherche fondamentale avec un projet de construction nous constaterons que dans le premier cas, la phase de conception peut ne comprendre que l'activité reliée à l'identification du besoin. L'activité de faisabilité s'effectue dans la phase de planification. Dans le second cas, ces deux mêmes activités se trouvent dans la phase conception.

Par sa part, ARCHIBALD [1976] identifie six phases spécifiques dans le cycle de vie d'un projet: le Concept, la Définition, le Design, le Développement, l'application et la "Post complétion". WEBSTER [1978] fait à partir de cette proposition d'ARCHIBALD, une étude qui démontre également que les divergences pouvant exister au niveau des activités de chaque phase dépendent du type de projet à réaliser.

D'autres ont présenté leur vision relative aux phases du cycle de vie d'un projet. On remarque que selon les auteurs et selon le type de projet, les phases du cycle de vie sont présentées sous des variantes et des appellations différentes. Bien que les appellations soient différentes, toutes les propositions ont un point en commun à savoir: un découpage chronologique des phases ou des étapes sans mettre en évidence la nécessité itérative de rétroactions entre chacune des phases.

En plus, un projet a la particularité de suivre un cycle de vie relativement court pendant laquelle un ensemble d'activité va converger et établir une chronologie de vie par exemple au point de vue de l'investissement, étapes décrites par BEHREN et HAWRANEK [1945] et présentées dans la figure suivante:



**Figure 1.1** Phase de pré-investissemment, d'investissement en cycle de vie du projet  
( Sources: BEHRENS et HAWRANEK,1991]

D'après O'SHAUGHNESSY [1992], le cycle de vie d'un projet est caractérisé par trois phases distinctives:

- La phase développement
- La phase réalisation
- La phase opérationnelle

• **Phase de développement :**

Elle comprend cinq étapes qui sont la conception du projet, l'étude de préfaissabilité, la sélection, l'étude de faisabilité et la décision. Cette phase a pour objet de définir et d'analyser le projet de façon à prendre une décision quant à son refus ou à son acceptation. Lors de la conception, l'idée et la problématique du projet sont étudiées. Une priorisation des projets est alors effectuée et les études ultérieures sont réalisées sur projet prioritaire. L'étude de préfaissabilité est une étude préliminaire qui consiste à regarder les différentes options d'un même projet. Par la suite, la meilleure option est sélectionnée et la formulation finale et faite lors de l'étude de faisabilité. Après cette étude, le projet est approuvé ou non.

• **Phase de réalisation :**

Elle comprend la planification et l'exécution du projet. La planification est la mise en place de l'organisation du projet, alors que l'exécution concerne surtout les travaux associés



aux projets. Cette phase permet de tout mettre en œuvre pour transformer les intrants d'un projet en extrants.

- **Phase opérationnelle :**

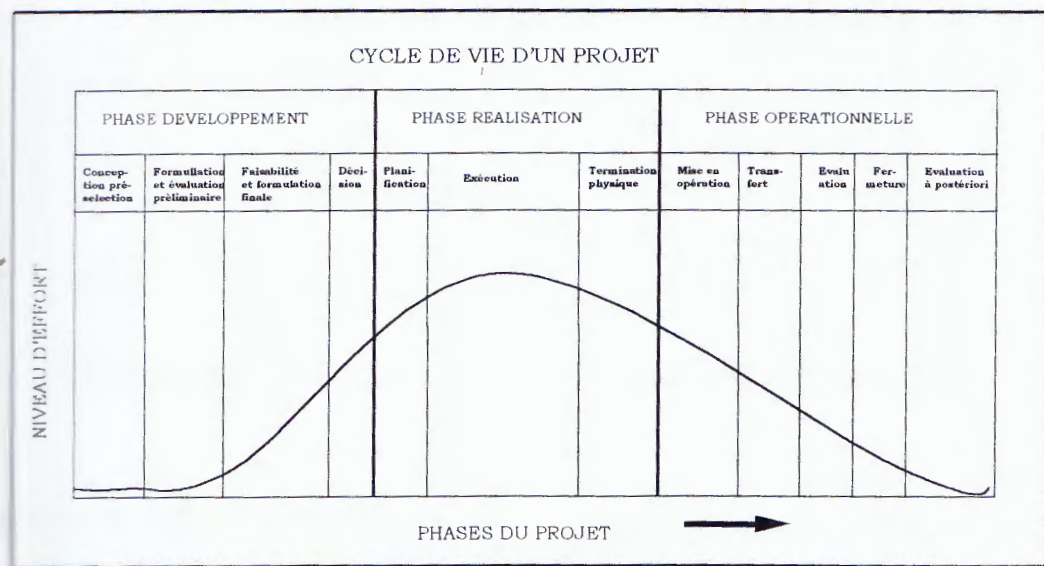
Les activités de la phase de mise en opération ou phase opérationnelle sont la mise en opération du projet, la livraison des projets, l'évaluation pré-fermeture, la fermeture du projet et l'évaluation à posteriori.

La figure 1.2 permet d'avoir une vue globale du cycle de vie du projet. Elle représente le niveau d'effort à fournir en fonction des différentes étapes du cycle.

Tous les projets sont idéalement en cohérence au sein de la politique et de la stratégie de l'entreprise qui ont été influencé fortement par des changements globaux (économique, politique, écologique, opinion publique etc.). L'aspect concernant l'environnement global doit être pris en compte.

Par contre, tout comme la plupart des activités que nous entreprenons, un projet est susceptible de générer des événements non désirables, qui n'ont pas été prévus et qui, dépendance de leur importance, peuvent mettre en péril ce dernier ou faire en sorte qu'il n'atteigne pas les objectifs pour lesquels il a été conçu.

Ainsi, à partir du moment où nous ne contrôlons pas avec certitude notre environnement, nous sommes, du point de vue théorique, soit en contexte de risque, soit en contexte d'incertitude.



Source: O'Shaughnessy [1992]

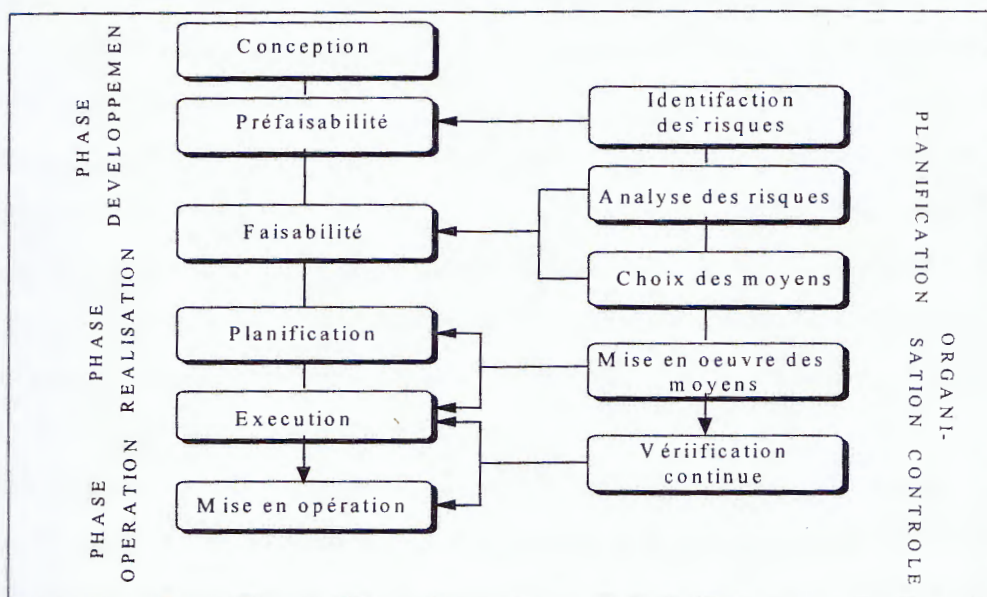
**Figure 1.2** Cycle de vie d'un projet

O'SHAUGHNESSY [1993] a proposé un modèle de gestion du risque . Ce modèle suggère d'identifier les principales sources de risque dès l'étape de la formulation et de l'évaluation préliminaire du projet (pré faisabilité), illustré à la figure 1.3.

On remarque que les activités ayant trait à la planification du risque se déroulent dans la phase développement du projet et que celles relatives à l'organisation du risque (mise en oeuvre des moyens choisis) et au contrôle de ces derniers s'effectuent à la fois dans les phases réalisation et opérationnelle du projet.

Cependant, selon O'SHAUGHNESSY [1992] cette vision simplifiée de la gestion du risque respecte à la fois les concepts généraux de la gestion administrative et la préoccupation des gestionnaires des projets à prendre rapidement en compte le risque dans un projet.

Quant à cette thèse, notre travail sera consacré plus particulièrement entre à la phase de développement et la phase réalisation i.e. après l'étude de faisabilité et la planification du projet.



Source: [O'SHAUGHNESSY 1992].

**Figure 1.3** Modèle de gestion du risque au cycle de vie d'un projet

## 1.4 APPROCHE SYSTEMIQUE ET LA GESTION DE PROJET

Il est difficile de parler de gestion de projet sans tenir compte de la notion de système. Un projet ne doit pas être uniquement vu à l'image d'une petite boîte noire isolée,



mais plutôt comme étant un élément faisant partie d'un univers fourni par de multiples éléments. Cet univers est souvent flou, complexe, multidimensionnel et difficile à cerner [O'SHAUGHNESSY, 1992].

L'environnement technologique, l'environnement économique, social culturel et écologique etc. sont l'ensemble des éléments gravitant autour d'un projet.

L'approche classique ne suffit plus pour répondre aux exigences de l'intégration. C'est pourquoi, l'approche systémique occupe une place importante dans l'analyse d'un projet et introduit les notions systémiques concernant l'environnement autour du projet. Dans le sous-chapitre suivant, nous allons faire une brève description de la notion de système et de son approche dans la gestion du projet.

#### 1.4.1 NOTION DE SYSTEME

En France, l'approche systémique est apparue assez tardivement [DURAND, 1996]. Au début des années 70, des chercheurs [MORIN, 1977], ROSNAY [1989], MOIGNE [1977] ont construit la théorie des organisations en utilisant l'objet biologique pour faciliter le passage à un point de vue global (système). Cette approche suscita un engouement dans toutes les disciplines scientifiques.

Comme dans la gestion de projet, on a besoin d'apporter des aspects pluridisciplinaires. Par exemple, l'essor des mathématiques, de la statistique et de l'informatique à procurer des outils de recherche opérationnels forts utiles dans l'aide à la décision, comme aussi la science économique et financière, la sociologie et l'écologie etc. Ces apports pluridisciplinaires ne peuvent pas être considérés de façon isolée, mais doivent être intégrés dans un système global d'organisation de projet.

Les nombreux experts donnent la définition d'un système : Par exemple, pour BERTALANFFY [1977], un système est un ensemble d'unités en interrelation mutuelles et pour ROSNAY [1975] un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but.

Cette définition est très vague et ambiguë, ACKOFF [1982] propose une définition intéressante puis qu'elle insiste sur la dimension intentionnelle d'un système, selon lui:

*"Un système est un tout qui ne peut être décomposé sans perdre ses caractéristiques essentielles. Il doit donc être étudié comme un tout. De plus, plutôt que d'expliquer un tout en fonction de ses parties, il faut expliquer les éléments en fonction du tout. Par*

conséquent, le système doit être vu comme un ensemble de parties et non comme des entités séparées".

En effet, on peut noter ici qu'un projet est un système complexe ou un ensemble de dimensions sociales, économiques, matérielles, naturelles, écologiques, technologiques, etc. sont en interaction.

C'est pour quoi, à notre avis, cette complexité nous amène à considérer la gestion de projet comme gestion d'un système. Lorsque la gestion de projet est prise dans ce sens, elle contient plusieurs sous systèmes.

#### 1.4.2 APPROCHE SYSTEMIQUE DANS GESTION DE PROJET

De façon simpliste, d'un point de vue de la finalité du projet, la notion du système représente également une certaine similitude avec la conception du "projet" précédent. Si on s'appuie à certaines caractéristiques abordées précédemment dans la définition de projet telles que:

- Le projet est un processus de transformation de ressources
- Le projet doit répondre à un ou des objectifs précis
- Le projet est sujet à certaines contraintes
- Le projet baigne dans un environnement interne et externe

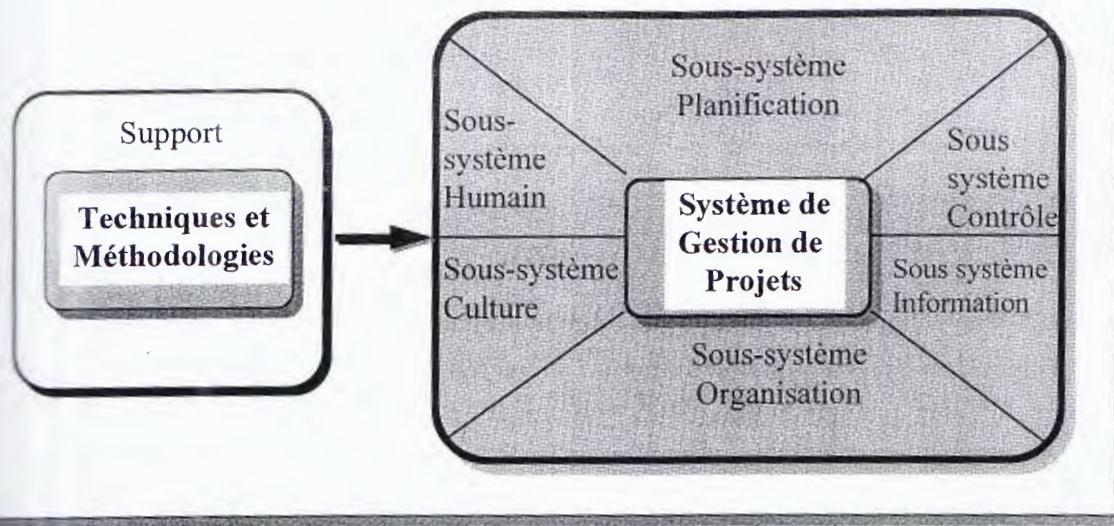
C'est pour quoi par exemple [CLELAND et KING, 1982] a affirmé qu'un projet peut également à être identifié comme étant un élément d'un système.

Quant à la définition de la gestion de projet Pattersen [1989] nous propose une définition intéressante comme la suivante :

*" La gestion de projet est une méthode systémique permettant l'interaction dynamique entre tous les éléments d'une organisation et l'environnement à travers un enchaînement d'activités convergeant vers un objectif commun".*

Sur la même sens dans cette voie, CLELAND [1985] propose de considérer la gestion de projet comme un système composé de six sous-systèmes en interaction dynamique ayant chacun une mission spécifique à accomplir tout en étant soutenue par un ensemble de techniques et de méthodologies soigneusement sélectionnées, illustrée à la figure suivante :





CLELAND [1985]

**Figure 1.4** Découpage de la gestion de projet en sous-système

- **Sous-système d'organisation:**

Il a comme objectif de faciliter l'utilisation des ressources du point de vue fonctionnel du début à la fin du projet. On peut dire qu'elle vise à optimiser la gestion des interfaces entre toutes les unités de l'entreprise et l'environnement du projet. Ceci est réalisé à partir de la définition du rôle de chacune des unités de l'entreprise et de l'établissement de liaisons entre elles. Une bonne gestion du projet au centre du système nécessite une coordination efficace des interfaces.

- **Sous-système de planification:**

Ce sous-système est porteur de la sélection des objectifs du projet ainsi que de l'ensemble des stratégies visant à utiliser des ressources. Ces stratégies incluent les plans d'action, les politiques, les procédés et les plans d'affectation de ressources.

- **Sous système de contrôle:**

Ce sous-système a pour but de fournir les indicateurs de performance en accord avec le temps programmé, le budget et les objectifs techniques. De ce fait des actions correctives sont prises afin d'améliorer l'utilisation des ressources.

- **Sous-système de gestion d'information:**

Ce sous-système se révèle comme un excellent moyen pour le développement de plans et pour établir le contrôle sur un projet. L'information fait partie du projet, elle fournit la matière première pour la prise de décision tant stratégique qu'opérationnelle. On a besoin du système de gestion de l'information afin d'améliorer la prise de décisions: en captant, traitant et restituant tour à tour l'information.

- **Sous-système culturel:**

Ce-ci est élément qui établit la synergie entre les idées et les convictions managers ou fonctionnelles associées pendant tout le cycle de vie du projet. Les projets qui, généralement réussissent, adoptent une culture homogène en termes de valeurs, convictions, attitudes, traditions et style de management

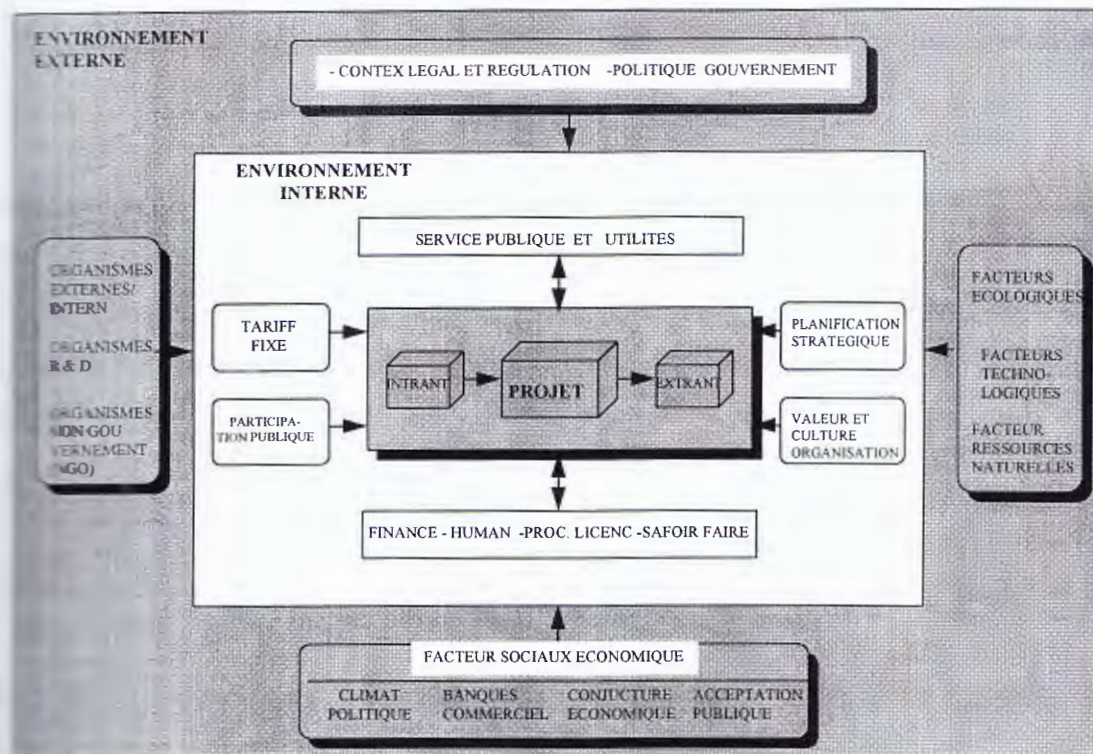
- **Sous-système humain:**

Il a la responsabilité particulière d'assumer de manière partielle les fonctions usuelles de la gestion du personnel et de veiller au maintien d'un bon climat de travail. Ce sous système remplit plusieurs fonctions par exemple : gérer le recrutement de personnel, s'occuper des relations de travail etc.

De ce fait, toujours dans l'optique de la notion systémique plus macro, on peut figurer les liaisons projet-environnement, surtout dans notre cas les projets publics (c/o le projet de développement d'un central électrique). ( Voir la figure 1. 5).

La figure 1.5 décrit le fait que le projet n'a généralement pas ou bien peu d'influence sur son environnement.





**Figure 1.5** Le projet comme un système

On peut remarquer ici, qu' il y a deux notions sur l'environnement, ces sont l'environnement interne et l'environnement externe au projet.

L'environnement interne nous réfère aux différentes variables de l'organisation d'où naît le projet, alors que l'environnement externe touche aux variables qui sont indépendantes du contrôle de l'entreprise et qui sont susceptibles d'influencer la bonne marche du projet.

Les principales composantes de chacun des environnements ci-dessus sont : (i) l'Environnement interne: Planification stratégique et valeurs de l'entreprise, Human-finance-savoir faire, Fixer le tarif, Participation public et service privé et (ii) L'Environnement externe: i.e. Facteurs sociaux-economiques: climat politique, banque commerciale, conjuncture économique, taux d'inflation, taux d'intérêt, PNB, taux de croissance, acceptation publique etc.; Facteur écologique, technologique, ressources naturelles (climat, sol, air, pollution, technologies existantes etc.); Organisation externe/interne: non-organisations, gouvernemental, organismes, R & D, banques et contexte légal et régulation, politique du gouvernement etc.

En conséquence, dans l'étape de faisabilité le gestionnaire de projet devra prendre en compte l'ensemble des variables dans lesquelles baigne projet et circonscrire les événements critique qui sont susceptibles de se produire et de mettre en péril le projet.

Comme le montre la figure précédante le projet n'a généralement pas ou bien peu d'influence sur son environnement externe alors qu'il peut influencer et être influencé par les variables de type interne.

Alors, l'analyse d'un projet doit prendre en considération ce réseau de relations entre le projet et son environnement pour d'une part, déceler les contraintes ou conditions critiques pouvant en découler et, d'autre part, établir l'ampleur des modes de gestion à mettre en place pour gérer cet ensemble d'interfaces.

C'est pourquoi, nous pouvons conclure que la vision systémique constitue en prérequis essentiel pour évaluer adéquatement un projet et le gérer efficacement.

## **1.5 PRINCIPES GENERAUX D'EVALUATION ET DE SELECTION DES PROJETS**

L'une des phase du cycle de vie d'un projet est la phase de sélection et d'évaluation comme le montré au sous chapitre procédent. Si les projets proposés s'avèrent ne pas répondre tout à fait aux exigence de l'entreprise et de l'environnement, de nouvelle composition devront être faites.

Par ailleurs, soumis à des contraintes bien spécifiques et à la compétition avec de nombreuse projets proposés, normalement le responsables les principaux intéressés: état, collectivités locales et entreprises doivent pouvoir répondre à la disponibilité du budget pour sélectionner le projet.

De nombreuses méthodes d'évaluation et de sélection pour les projets de R&D ont été bien classifiées actuellement et sont décrites dans la littérature par exemple MARTINO [1986], BROS [1994], CUELLAR [1992] et DANILA [1989 ].

On peut noter ici que notre travail ne vise pas uniquement d'un point de vue les projets R & D dans une organisation. Mais, nous nous visons l'étude méthodologique d'évaluation et sélection des projets publiques.

De l'autre côté, il n'est pas facile de donner une classification précise à la notion de méthodes de l'évaluation et la sélection des projets du point de vue économique et sociale. Par exemple GARRABE [1994], a distingué trois catégories d'évaluation des projets i.e. type d'évaluation financière, économique et sociale. Ces différentes catégories correspondent



naturellement à des indicateurs particuliers. Un même projet peut faire l'objet de différentes approches complémentaires

Dans la section suivante, avant de présenter la méthode d'évaluation et de sélection de projets R & D, publics ou l'autres types existants actuellement dans la littérature et beaucoup d'entre elles couramment sont appliquées, il est importance de montrer la définition d'évaluation du projet et l'information nécessaire pertinents.

Cette présentation nous permet de caractériser de la manière générales de la méthode elle-même et l'ensemble des technique utilisées.

## 1.5.1 EVALUATION ET INFORMATION DE PROJET

L'évaluation d'un projet peut être définie comme la recherche d'indicateurs permettant pour ceux qui les mettent en œuvre, d'apprécier les effets positifs et négatifs d'un projet ou d'un programme par rapport à des objectifs définis à l'avance. [GARRABE, 1994]. Alors, les techniques de l'évaluation de projets développée ont pour but la rationalisation des décisions.

Le statut de l'évaluation étant de concourir à la prise décision pour la réalisation ou la transformation d'une opération de projet, elle implique d'avoir recours à des méthodes de mesure utilisant des indicateurs. GARRABE [1994] donne pour qu'un indicateur caractéristique soit être utilisable, les critères suivants:

- fiable, c'est-à-dire ne pas présenté de déformation suivant la nature de l'observateur
- pertinent, proposer une information correspondant aux objectifs qui lui sont assignés
- sensible, il est indispensable qu'il révèle les modifications marginales de la situation
- facile à recueillir pour minimiser les risques d'erreurs
- clair pour permettre de faciliter la décision

En effet, il y a deux types d'information liée dans d'évaluation du projet : les informations quantitatives et les informations qualitatives. Les caractères de chaque type déterminent les critères classiques avec lesquels on peut mesurer la rentabilité du projet et choisir la méthode d'évaluation et de sélection du projet.

- Les informations quantitatives

Ce sont les informations mesurables en terme monétaire ou physique; lorsqu'il s'agit par exemple d'un projet, tout ce qui est mesurable en valeur monétaire: Les facteurs de production, les recettes et les dépenses etc.

Il y a plusieurs techniques pour mesurer ces données : l'actualisation, l'analyse de sensibilité, l'analyse des risques, la comptabilité nationale et l'analyse coût/ avantage etc.

- Informations qualitatives

Ce sont les informations qui ne font pas l'objet d'un marché, c'est-à-dire qui ne sont pas aisément mesurable en terme monétaire tel que: la polarisation sociale, la pollution, les services publics, les économies externes, l'urbanisation, le transfert technologique etc.

Ainsi, il y a quelques activités qui ne se traduisent pas pour les collectivités par des coûts ou des avantages qui ne correspondent pas aux achats ou aux ventes réelles.

Pour évaluer les informations qualitatives, l'analyse coûts/avantages et le calcul de rentabilité financière ne sont pas suffisants, on doit passer à l'analyse multicritère.

En plus, il arrive souvent que ces informations soient insuffisantes à cause de :

- l'absence de séries statistique longues et cohérentes
- la confidentialité des informations émanant de certaines organisations
- l'information non collectée
- les données parfois anciennes
- les séries statistiques non recoupées
- l'information saisie sous forme inexploitable.

Les problèmes relatifs à la disposition, à la fiabilité et à l'utilisation d'informations sont nombreuses et importantes dans évaluation économique financière d'un projet.

Cependant, quant aux sources d'information notamment pour les projets publics réalisés, on peut souvent trouver dans sources variées comme le montre dans le tableau suivant:



**Tableau 1.2** Sources d'information concernant l'évaluation des projets

Documents comptables et financiers du projet	Etude préalable dans la zone du projet	Etude sectoriel	Documents comptable national et régional
• Compte d'investissement	• Etude de la situation de référence	• Etudes sectorielles	• Tableaux d'entrées-sorties (TES)
• Compte de résultat prévisionnel	Etude du diagnostic de zone	• Etudes des filières	• Compte du commerce extérieur
• Compte de trésorerie			• Comptes administratifs
• Bilan prévisionnel			• Comptes de secteurs
			• Comptes régionaux

Source: GARRABE [1994]

## 1.5.2 TYPES DES METHODES UTILISEES DANS LA SELECTION DES PROJETS

### 1.5.2.1 Méthodes d'évaluation et de sélection des projets R & D

Dans ce sous chapitre nous allons présenter les méthodes traditionnelles la plus couramment utilisées dans le choix de projets R & D. Les méthodes existantes sont comme suit:

#### a. Méthode de ratio

Les méthodes de ratio ont été conçues à l'origine pour évaluer l'enveloppe globale du projet de R & D. Le modèle mathématique général est le suivant:

$$R = \frac{D}{I}$$

D = dépense de tous les projets de recherche

I = montant total des investissements réalisés la même année par l'entreprise

Des rapports semblables ont été par la suite proposés pour sélectionner au coût moyen des projets ou par rapport à l'investissement global de la recherche, le rapport bénéfice-coût etc. [MARTINO,1996]

Les méthodes très simples et intuitives, et selon BROSS [1994] elles ont la faveur des praticiennes car elles exigent un nombre très restreint de données et le calcul est rapide. Elles permettent de hiérarchiser les projets en fonction d'un seuil fixe, de ne retenir que certains projets.

## 5 Méthode d'indices

Il s'agit des méthodes quantitatives qui évaluent un projet à travers la valeur d'un indice. Les critères d'évaluation, financiers et économiques, essaient dans l'ensemble et à l'aide d'un modèle mathématique d'évaluer la rentabilité d'un projet.

CUELLAR [1992] remarque que c'est Olsen qui a proposé un indice de revenu qui doit être en principe supérieur ou égal à 3 pour que le projet soit retenu. Le modèle mathématique général est le suivant:

$$V = \frac{R \times P}{C}$$

V = indice de revenu

R = revenu procuré par l'investissement du projet

P = probabilité de succès du projet

c = coût total du projet

Ce modèle ne prend pas en compte les valeurs financières en fonction du temps. C'est pour cela, selon DANILA [1989], parmi les indices financiers existants, le modèle Disman qui exprime dans le modèle mathématique suivant semble le plus complet.

$$MEJ - R_t R_m \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+i)^t} = 0$$

MEJ = dépense maximale justifiée

$R_t$  = probabilité de réussite technique

$R_m$  = probabilité de réussite commerciale

$I_t$  = revenu total à la fin de chaque année

i = taux de rentabilité désiré

n = durée de vie commerciale

En effet, ce modèle s'inspire directement de la méthode de maximisation de la valeur actuelle nette. Une valeur actuelle net positive dans ce modèle permet de retenir un projet.

Les méthodes d'indices ont les avantages d'être simple et rapides mais beaucoup trop partielle dans la mesure où elles privilégient de manière traditionnelle, un seul aspect de l'évaluation, soit les risque (succès/échec), soit l'aspect financier.



## c Méthodes de programmation

Les méthodes de programmation essaient de construire des modèles théoriques décrivant la sélection de projets et allocation des ressources et parfois même le planning des temps [KHORRAMSHAHGOL et.al. 1988, SANTHANAM et.al. 1989, MARTINO, 1996].

Un modèle de programmation est généralement structuré de la manière suivante: Étant donné un ensemble de projet (n) où le projet (i) a un coût  $C_i$ , une probabilité de succès  $P_i$  et un revenu procuré  $R_i$  le modèle est formulé mathématiquement comme suit :

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^n (P_i R_i - C_i) X_i$$

Sous la contrainte:

$$\sum_{i=1}^n C_i X_i \leq C$$

$$X_i = 0, 1$$

Dans ce modèle de programmation entière,  $X_i$  est égale 1 si le projet i est retenu et à 0 dans le cas où le projet est refusé. L'objectif du modèle se résume à choisir l'ensemble des  $X_i$  qui maximise les revenus totaux Z avec somme totale de dépenses en matière de projet inférieure ou égale à C ( budget total du projet).

Les méthodes de programmation sont intéressantes du fait :

- d'une grande capacité à prendre en main importance problèmes regroupant plusieurs projets en contraintes de ressources
- que le modèle utilisé est souple et peut s'adapter aisément à la complexité nouvelle d'un projet

Malheureusement, ces méthodes ne prennent qu'en compte les valeurs financières et économiques en ses fonctions objectives i.e. maximise les revenus totaux. Elles semblent à simplifier de réalité du processus d'évaluation et sélection des projets. En plus, elles nécessitent une quantification globale des projets car seuls les effets qui sont évalués en termes monétaires peuvent être pris en compte.

## d Méthodes de portefeuille

Selon DANILA[1989] les méthodes de portefeuille sont inspirées des travaux de ses prédécesseurs. Les qualités générales d'un modèle de portefeuille comme ceux proposés sont

de montrer que les revenus attendus pour les projets changent en fonction des diverses alternatives d'investissement possibles à l'intérieur d'un budget général.

Les méthodes d'analyse de portefeuille permettent d'évaluer et de sélectionner des projets individuels et des projets nombreux qui font partie d'un portefeuille et se font mutuellement concurrence quand les ressources sont rares.

Ces méthodes malheureusement ne conviennent pas particulièrement aux projets qui nécessitent quelques valeurs précises difficilement quantifiables et l'aspect intangible des projets.

### **e Méthodes matricielles**

Ces méthodes sont à l'origine d'une démarche macro économique et ont pour objectif de représenter sous forme matricielle la contribution d'un projet. En ce qui concerne la valeur commerciale d'un produit, d'un procédé ou d'un service, ainsi que la valeur commerciale du projet lui-même.

CUEILLAR [1992] a noté que parmi les méthodes le plus répandues dans ce domaine sont la méthode QUET, la méthode MACRO R&D, la méthode matricielle développée par DGRST et la méthode PROFILE qui est la méthode de la plus connue de cette famille.

Les méthodes matricielles sont des méthodes qualitatives nécessitant l'expression de plusieurs critères afin de définir le profil de chaque projet. Selon DANILA[1989], leur raison d'être n'apparaît qu'au niveau d'une recherche appliqué et de développement, recherche aboutissant à la commercialisation d'un produit ou d'un procédé.

### **f Méthodes de liste de contrôle**

Dans ces modèles, les projets concurrents sont comparés à travers des critères choisis pour l'évaluation. Ces méthodes sont parmi les plus utilisées car elles constituent l'étape intermédiaire indispensable avant de faire appel à des méthodes plus sophistiquées. [DANILA, 1989].

La méthode de Kieffer est la méthode la plus ancienne trouvée dans la littérature pour évaluation et sélection des projets R&D. Cinquante-six critères sont proposés et regroupés en cinq familles: financière, R&D, production, marketing et position de l'entreprise. Pour chaque critère le résultat d'évaluation peut être très favorable, moyen, défavorable, très défavorable.



BAKER [1980] propose les modèles de liste de contrôle qui ses critères sélectionnés sont regroupés en trois listes de contrôle différentes. La première est orientée vers la sélection de projet de recherche, la seconde concerne la sélection des projets de développement de produits et la dernière envisage la sélection de projets de développement de processus.

Il est évident que ces méthodes sont une étape indispensable dans l'évaluation et la sélection d'un projet. Elles ont pris en compte l'ensemble des critères qui semblent important pour l'évaluation et la sélection des projets. De plus, ces modèles nous permettent de mélanger de critères qualitatifs et quantitatifs dans la même évaluation.

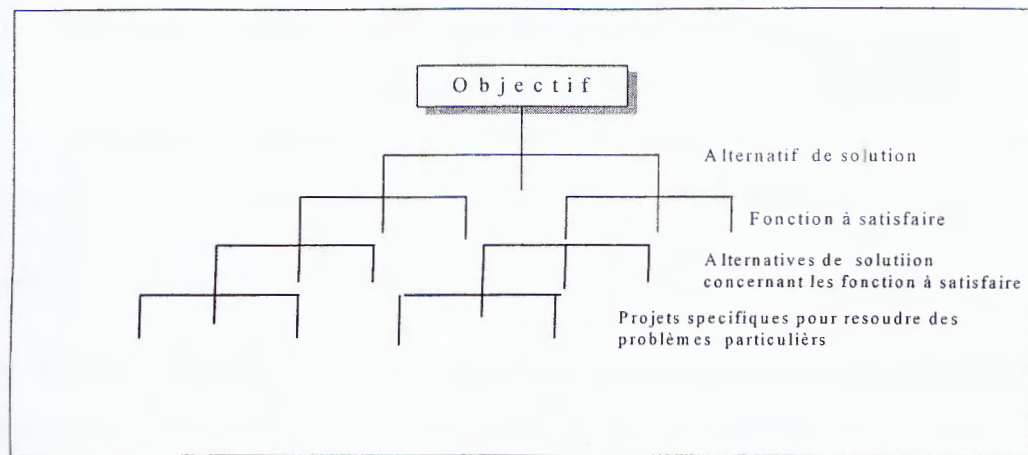
Cependant, nous pouvons noter qu'il y a les inconvénients suivants:

- Elles ne sont qu'une étape intermédiaire sur le chemin de méthodes plus complexes, comme les arbres de pertinence ou les méthodes multicritères.
- Le regroupement des critères, pour certaines méthodes, proposé est toujours plus ou moins arbitraire
- L'inexistence d'échelle d'évaluation dans la plupart des méthodes entraîne une difficulté d'appréciation des projets selon les critères retenus.

### **g Méthodes d'arbre de pertinence**

Les méthodes d'arbre de pertinence constituent une généralisation des méthodes des listes contrôle dans lesquelles une hiérarchisation plus homogène des finalités de l'organisation est proposée [DANILA, 1984].

Un grade d'appui dit arbre de pertinence est généralement construit pour visualiser les différents chemins possibles.



**Figure 1.6** Arbre de pertinence

Ces méthodes permettent d'apprécier le degré de cohérence des projets avec les objectifs de l'organisation et mettre en évidence les déficiences technologiques qu'il est nécessaire de combler pour atteindre les objectifs du niveau supérieur [BROSS, 1994 ]

Par ailleurs, les chercheurs voient leur travail parcellaire intégré dans un ensemble cohérent. Un arbre de pertinence constitue une base pour prévoir les coûts, le temps et la probabilité de succès technique de chaque projet.

Ces méthodes offrent une meilleure base pour prendre des décisions par rapport aux autres méthodes. Elles donnent une description précise des processus de décision en R&D. Mais, elles ne tiennent pas compte des contraintes liées à l'allocation des ressources.

## 2. Méthodes de grilles

Ces méthodes sont très proches des méthodes de liste de contrôle, la seule différence étant la présentation des critères retenus et à une évaluation souvent plus quantitative des risques.

CUELLER [1992] a affirmé que la méthode TECDEV (Technique et Développement) propose une de méthode les plus connues dans cette famille. La grille d'évaluation est composée de trente-six critères regroupés en quatre catégories: fabrication, commercialisation, position compétitive de l'entreprise et probabilité" de succès.

DANILA [1984] a décrit la méthode MONSATO qui définit le profil d'un projet de R&D par vingt-six critères repartis en quatre dimensions: l'aspect financier, le R&D, la production et la commercialisation. La méthode de mérite social (CAREY) utilise pour sa part douze critères regroupés en trois catégories: économique, culturel et considération politique.



Elles permettent des comparaisons des projets très objectives, les échelles d'évaluation étant définies et les poids des critères fixes. Mais, elles n'apportent pas d'élément supplémentaire par rapport aux méthodes des listes de contrôle, si ce n'est une représentation plus intéressante et une tentative de valorisation plus poussée.

## ii Méthodes multicritères

Les méthodes multicritère semblent théoriquement les plus prometteuses car elles se proposent de prendre en compte les critères réels de décision qu'ils soient qualitatifs ou quantitatifs. Ces méthodes comportent deux phases :

La phase d'analyse permet d'avoir une vue objective de la situation actuelle et du problème à résoudre. Elle identifiera parfaitement les projets et permettra d'envisager l'émergence de variantes qui peuvent pallier les inconvénients des premiers projets proposés.

La phase de sélection ou d'agrégation propose selon les types de méthode multicritères, soit de séparer les projets à retenir des projets à rejeter, donc une dichotomie sur l'ensemble des projets, soit un classement de tous les projets en classes d'équivalence.

Certaines méthodes comme Electre-Oreste après DANILA [1985 et 1989] apportent même une solution opérationnelle au cas très difficile de projets fortement dépendants. Du point de vue théorique telle méthode offre la possibilité de simuler la fonction de préférence d'un décideur même si celle est faite de manière implicite. Cette méthode évite de ramener tous les effets d'une décision à un critère commun, le plus souvent monétaire. En revanche, pour agréger les critères ceux-ci sont pondérés et les poids définissent un faux de substitution entre critères que ne peut être qu'arbitraire.

La principale limite est qu'une méthode multicritère comme Electre-Oreste [DANILA, 1985] ou la méthode Procédure d'Analyse Hiérarchique- AHP [MARTINO, 1996] ne peut être appliquée que lorsque des projets candidats peuvent être définis. Ainsi, elle ne peut pas être appliquée lorsque des projets candidats tiennent compte des contraintes liées à l'allocation des ressources limitées comme les budgets et les temps.

Or, nous pouvons noter quelques avantages de ces méthodes, en résumé comme les suivants :

- Elles sont estimées comme particulièrement utiles en tant qu'aide à la décision, quel que soit l'approche adoptée pour la sélection des projets.
- Intègrent des critères qualitatifs et quantitatifs dans se traduire par un ensemble de facteurs optes à reprendre au choix de l'ensemble des projets.

- Offrent une analyse très approfondie de tous les éléments nécessaires à une bonne évaluation et l'utilisation de concepts intéressants comme celui du surclassement des projets.
- Donnent l'occasion de confronter les opinions de différentes responsables aussi bien sur les critères utilisés pour apprécier les projets sur le poids à accorder à chacun d'eux..
- Faciliter de réaliser des études de sensibilité en jouant sur le poids des critères, sur les niveaux des seuil de discordance ou de concordance.

## **Méthodes de consensus**

Les méthodes de consensus sont des méthodes qualitatives basées sur l'évaluation d'un jury d'experts.

Selon MARTINO [1996] la plus connue, très utilisée dans les entreprises est la méthode Delphi. Elle est essentiellement employée pour la prévision technologique à long terme. Chaque expert répond individuellement à un questionnaire, puis ayant pris connaissance des réponses des autres membres du jury, il devra faire une nouvelle estimation (NELMS et PORTER, 1981).

On arrive ainsi, par itération le plus souvent à un consensus général sur un éventail de projet, ou à une opinion presque générale avec quelques divergences fortement argumentées.

Ces méthodes ne représentent pas à elles seules une méthode d'évaluation et de sélection. Il est clair que sans l'adjonction d'une autre méthode (multicritère, portefeuille, liste de contrôle, multiobjectif) elles seraient difficilement exploitables. (KHORRAMSHAHGOL et.al. [1988] et MOHANTY [1992] aussi MISER et QUADE [1995]).

### **1.5.2.2 Méthodes d'évaluation et de sélection des projets publics**

Du point de vue d'évaluation et de sélection de projets publics traditionnels nous pouvons classer ses méthodes par deux types principales : la notion de rentabilité du point de vue de l'entrepreneur privé (rentabilité financière) et du point de vue de la collectivité (rentabilité critères (non financière)).

Les littératures abondantes ont été consacrées à ces méthodes par exemple dans BRIDIER et SERGE [1995], BARAKA[1992], BABOUSIOUX [1994], CHERVEL[1995],



BAHREN[1991], l' ONUDI [1990]. Sur tout pour les projets d'évaluation électrique, on peut consulter bien aux KHATIB[1996], MUNASHINGHE [1989], EDF [1980 ] et aussi TURVEY, ANDERSON [1977] et ADB [1993].

## **a Méthode financière**

L'état et tant qu'agent économique dirige des entreprises qui ont des objectifs divers: croissance économique, amélioration des conditions de vie de la population etc., l'entrepreneur privé, quant à lui, a pour but essentiel le profit.

Généralement, les méthodes projets évaluation trouvées et proposées dans les littératures pour évaluation des projets sont

### **• Valeur actuelle nette (VAN) :**

Le principe de l'actualisation est de rendre comparable donc agréable des opérations monétaires (recettes ou dépenses) effectuées à des périodes différents. On utilise pour ce faire un taux d'actualisation  $i$  tel par exemple qu'un franc à l'instant 0 équivaille à  $(1 + i)$  franc à l'instant

Pour le secteur privé, le taux d'actualisation doit arbitrer entre le présent et le futur et se trouver de fait assez proche des taux d'intérêts qui existent sur les marchés financiers.

Pour les entreprises publiques et les investissements d'infrastructure de l'état, comme objet dans notre étude, ce taux d'actualisation relève surtout d'une décision politique fondée sur une connaissance des taux d'intérêts pratiqués sur les marchés financiers, de l'offre et de la demande des capitaux. L'État, en fixant un taux d'actualisation, manifeste sa volonté politique d'agir sur le volume de l'épargne et d'orienter l'usage qui en est fait.[TURVEY et ANDERSON, 1977].

Dans une économie en voie de développement, l'absence de marché de capitaux rend la détermination du taux d'actualisation plus difficile car arbitraire et sans signification objective. Les approches théoriques ne permettent pas d'obtenir concrètement un taux de préférence de la collectivité, qui pourrait jouer le rôle de taux d'actualisation pour les investissements publics [BARAKA,1992].

Des approches plus pragmatiques proposent comme taux d'actualisation le rapport entre l'accumulation courante et l'accumulation déjà réalisée. Outre la difficulté de mesurer ces différents éléments, ce taux ne tient pas compte des taux d'intérêt auxquels sont



obtenus les fonds provenant des marchés financiers étrangers, alors que ces fonds constituent dans bien des cas la quasi-totalité du capital investi [BERNHARD, 1979].

En supposant qu'il existe un taux d'actualisation, déterminé avec plus ou moins d'arbitraire compte tenu de ce qui précède, la Valeur Actuelle Nette (VAN) d'un projet représente la différence entre la valeur actuelle des flux monétaires financières générées par le projet et le montant de l'investissement initial:

La méthode du bénéfice actualisé consiste suivant le cas :

- à retenir les projets qui ont un VAN positif, si ces projets sont compatibles et si l'entreprise n'a pas de limitation pour emprunter au taux  $i$  sur le marché financier.
- à sélectionner le projet qui a le VAN positif le plus élevé lorsque les projets sont incompatibles et lorsqu'il n'y a pas de limitation financière.
- à sélectionner les projets compatibles qui présentent le plus fort bénéfice actualisé par rapport à l'investissement (rapport avantage/coût) jusqu'à l'épuisement des crédits si les fonds d'investissement sont limités, ou à relever le taux d'actualisation afin d'éliminer ces projets.

Dans le cadre de sélection de projets le plus largement utilisé est celui où les fonds d'investissement sont limités et où l'entreprise devra éliminer des projets, même s'ils ont un bénéfice actualisé positif.

Quant à l'application dans d'investissement électrique en Indonésie, fréquemment on a trouvé une difficulté particulière en plus de celles inhérentes à la méthode i.e. le choix du taux d'actualisation et de la durée d'actualisation, la prise en compte des charges financière et fiscale [SUDJA, 1993]

Afin de déterminer la séquence des recettes, il faut connaître le volume des ventes ainsi que les tarifs pratiques. Or, dans le contexte des projets électriques Indonésiens, un grand nombre d'abonnés est très sensible au tarif et restreint volontairement sa consommation si le prix d'énergie électrique per kWh est trop élevé [PLN, 1995].

La détermination de recettes nécessite donc la connaissance de la relation (fonctionnelle ou non) entre le volume des ventes et le tarif.

Cette difficulté peut entraîner un sous investissement car le projet ne serait plus basé sur la satisfaction des besoins. C'est ce qui explique que le bénéfice n'est pratiquement pas utilisé pour la sélection de projets de production électrique. Par contre, son utilisation pourrait s'avérer intéressante dans certain cas, par exemple en dehors d'autres considérations (sociales, culturelles, environnementaux etc.), la croissance peut servir à la société nationale



d'électrique pour établir une priorité dans les opérations d'alimentation de groupes de consommateurs.

Inversement, la méthode du coût global actualisé est souvent utilisée pour la définition d'un programme d'investissement électrique. Cette méthode consiste à déterminer la combinaison de moyens de production (thermique, turbine à gaz, usine au fil de l'eau, usine réservoir, géothermiques etc.) dont le coût global actualisé est le plus faible

La PLN (Société Nationale d'électricité de l'Indonésie) utilise cette méthode pour la détermination du programme de planification de la production électrique à long terme [ZULHAL, 1995]. Elle utilise une programmation linéaire dans lequel la fonction d'objective est le coût global actualisé alors que les contraintes sont d'ordre physique- positivité des variables, d'ordre naturel -l'ensemble des investissements ne doit pas dépasser une enveloppe financière disponible et d'ordre technique- la somme des performances en pointe, en garantie et en énergie annuelle doit être supérieur ou égal aux caractéristiques établies à partir des besoins de la consommation.

#### • Taux de rentabilité interne:

La méthode du taux de rentabilité interne consiste à retenir, dans la limite du financement autorisé, les projets ayant le taux le plus élevé.

Comparer à la méthode VAN, cette méthode présente l'avantage de ne pas nécessiter un taux d'actualisation. Son emploi est donc commode car ce taux est difficile à déterminer. Toute fois, les deux méthodes ne donnent pas nécessairement le même résultat: suivant que le taux d'actualisation retenu est supérieur ou inférieur au taux d'équivalence des deux projets, le taux pour lequel les deux projets ont le même VAN, les deux méthodes conduisent ou non au même classement.

A cet égard la sélection des investissements au PLN en Indonésie, cette méthode présente le même inconvénient que celle du VAN, la difficulté à l'estimer les recettes. De plus, elle ne prend pas en compte les conditions de financement. Si le taux d'emprunt des capitaux est supérieur au taux de rentabilité interne du projet, ce-lui ci aura un bénéfice actualisé au un taux d'emprunt négatif. Enfin, il peut exister plusieurs valeurs de recette lorsque l'équation précédente à plusieurs solutions.

### • Délai de récupération (DR) :

Le délai de récupération (DR) est le temps nécessaire pour récupérer l'investissement initial. Pour sa détermination, on divise l'investissement initial par le flux monétaire annuel moyen..

Cette méthode, très simple dans sa formulation est encore utilisée. On accepte les projets dont le délai de récupération de l'investissement initial se produit à l'intérieur de délais critiques. Son intérêt est de privilégier la sécurité, mais elle ne tient pas compte des résultats du projet après la date de récupération de l'investissement initial. Il s'agit non seulement d'une méthode qui relève de considération financière, mais elle privilégie le court terme financier ce qui est incompatible avec les exigences du plan du projet.

Toute fois, cette méthode est intéressante pour une entreprise comme PLN qui est sollicitée par de nombreux investissements. Ainsi, l'entreprise peut planifier ces types d'investissements sans compromettre gravement sa situation financière à court terme. De ce point de vue, elle semble préférable à la méthode du VAN qui nécessite la détermination d'un taux d'actualisation.

### • Taux de rentabilité comptable (TRC)

Ces taux sont déterminés à partir de comptes d'exploitation prévisionnels des premières années de démarrage d'un projet. Suivant le cas, on calcule le rapport à l'investissement initial, du bénéfice brut, du bénéfice brut après amortissement, du bénéfice net après impôt ou du bénéfice après impôt avant amortissement.

En fixant une norme de rentabilité, l'entreprise détermine les projets qui doivent être retenus dans la limite de l'enveloppe financière disponible. On accepte les projets dont le taux de rendement comptable excède le taux fixé par les dirigeants de l'entreprise.

Comme la méthode "délai de récupération", cette méthode ne s'intéresse qu'aux revenus financiers des premières années et néglige ceux des autres périodes de la durée de vie du projet. Elle présente en conséquence l'inconvénient de ne pas être adaptée aux choix stratégiques, mais pourrait, comme la précédente, servir de critère de priorité dans la réalisation de certains investissements auxiliaires en matière de distribution.

En résumé, les méthodes de rentabilité qui viennent d'être évoquées brièvement présentent la particularité de ne privilégier que des considérations financières. Elles s'intéressent en effet soit aux bénéfices, soit aux coûts soit à un taux d'actualisation qui est



sensé refléter l'importance que la collectivité attache au futur par rapport au présent ou le coût d'opportunité lié à l'utilisation d'une ressource financière.

Le tableau 1.3 suivant résume une comparaison des avantages et des désavantages des méthodes étudiées au point de vue des critères financiers pour l'évaluation de projet:

**Tableau 1.3** Sommaire des avantages et des désavantages des méthodes d'évaluation de projet financière

Méthode	Avantages	Désavantages
Valeur Actuelle Nette (VAN)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire les flux monétaires à la valeur actuelle</li> <li>• Affectée par les différences de taux d'intérêt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessité d'une connaissance des taux d'intérêt</li> <li>• Comparer les projets avec un niveau d'investissement comparable</li> </ul>
Taux de rentabilité interne (TRI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne nécessite pas une connaissance des taux d'intérêt</li> <li>• Lier VAN à l'investissement du capital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valeurs des taux de rentabilité internes à multiples</li> <li>• Néglige les taux d'intérêt</li> </ul>
Délai de récupération	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facile à utiliser</li> <li>• Mesure pour privilégier la sécurité de projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manque de prise en compte de la valeur du temps</li> <li>• Néglige les flux monétaires ou les résultats des projets</li> </ul>
Taux de rentabilité comptables (TRC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facile à utiliser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Néglige les flux monétaires ou les résultats des projets</li> <li>• N'est pas adaptée aux choix stratégiques</li> </ul>

Cependant, ces méthodes ne considèrent que les objectifs financiers. Les autres conditions objectives fondamentales de la politique énergétique nationale ne sont pas envisagées, par exemple :

- d'ordre politique : contrainte fixée par l'état en provenance de transfert de technologie
- d'ordre économique: influence des projets sur l'environnement industriel , régional ou création d'emploi
- d'ordre social : avantages divers pour les collectivités rurales
- d'ordre écologique : la protection de l'environnement, réduction de la désertification, etc.

Dans le cas de l'Indonésie qui a une économie de type planifiée donc administrativement intégrée, la rentabilité ne permet pas d'atteindre l'efficacité économique même si, du point de vue de l'entreprise, elle conduit à une situation financière équilibrée.

Pour jouer son rôle de service public, la société nationale d'électricité comme PLN ("Perusahaan Listrik Negara") en Indonésie par exemple doit surtout contribuer à combattre le sous-développement en procédant à faire des investissements efficaces et dans la mesure du possible, rentables. La rentabilité ne doit pas être exclue des préoccupations de l'entreprise car il n'est pas question de fiscaliser l'ensemble de ses investissements.

À côté des méthodes précédentes, il en existe d'autres qui sont généralement utilisées pour la planification macro-économique mais qu'il est intéressant d'analyser dans le contexte d'une entreprise publique.

### **2 Méthode non financière**

Il existe un grand nombre de méthodes d'évaluation des projets dans le secteur publics. Quatre d'entre elles sont plus pratiques et largement utilisées dans les pays en voie de développement, par les organismes internationaux. Elles sont très connues comme : La méthode de l'ONUDI, La méthode de l'OCDE, La méthode mise en œuvre par la Banque Mondiale et La méthode des effets. On peut trouver des discussions et des comparaisons de ces méthodes de façon plus détaillée dans l'ouvrage de CHERVEL [1977], BARAKA [1992] et ETTINGER [1995].

Pour donner un cadre panorama succinct de ces méthodes, nous étudierons celles qui sont les plus caractéristiques et qui pourraient inspirer à notre cas. Ce sont :

#### **• Productivité marginale sociale (PMS) :**

La productivité marginale sociale est obtenue par la formule :

$$PMS = \frac{V}{K} - \frac{C}{K} + \frac{R.B}{K}$$

K = Coût de l'investissement initial

V = Valeur du produit au prix du marché + valeur ajoutée indirecte - coût de matières premières importées



C = Coût total de financement (main d'œuvres, matières premières locales, amortissement)

B = Economie de devises résultant de l'investissement

R = Coefficient de pondération.

Les éléments V, C, et B sont calculés pour une année. Les trois termes de la forme représentent respectivement les effets d'expansion, de coût et de balance.

La méthode de la PMS est de retenir le ou les projets qui maximisent cette fonction. Elle présente l'avantage de tenir compte des facteurs relatifs à l'ensemble de l'économie même si le calcul des différents éléments est effectué sans actualisation.

On peut trouver les principes mentionnés dans la méthode de l'ONUDI. Cette méthode permet de choisir des projets maximisant la valeur actuelle de la consommation totale en tenant en compte la contribution du projet à la réalisation d'autres objectifs tels que la distribution du revenu, la création d'emplois, l'indépendance économique etc.

Toutefois, sa mise en œuvre dans le cas de projets électriques est entravée notamment par la difficulté d'évaluer l'effet d'expansion et plus particulièrement le numérateur V. La valeur de la production d'électricité au prix du marché est en effet inconnue a priori on l'a vu avec le bénéfice actualisé.

#### • Analyse bénéfices-coûts:

Le ratio bénéfice coûts est le rapport entre les bénéfices directs et indirects procurés par un projet aux coûts également directs et indirects qu'il entraîne. Ces deux facteurs sont effectivement actualisés s'il existe un taux d'actualisation adapté au contexte de l'économie considérée:

$$B / C = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} B_t(1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^{t=n} C_t(1+i)^{-t}}$$

B<sub>t</sub> = les bénéfices du projet pendant la période t

C<sub>t</sub> = les coûts du projet pendant la période t

La méthode de l'analyse bénéfice -coûts est de retenir le projet ou le programme pour lequel le ratio précédent est le plus élevé. En fait, l'application de la méthode comporte plusieurs étapes:

- à éliminer tous les projets dont le rapport B/C est inférieur à l'unité, par ce qu'ils ne sont manifestement pas rentables
- à comparer une variante avec la moins coûteuse suivant n'ayant pas encore été éliminé et quand on constate que le coefficient [B/C différentiel] est  $< 1$ , on estime que l'investissement supplémentaire n'est pas rentable non plus
- à conserver le projet le moins coûteux et on élimine l'autre

Malgré les difficultés constituées par l'évaluation des bénéfices [DORFMAN, 1996], cette méthode présente l'avantage de tenir compte de facteurs sociaux et économiques dans la prise en compte des effets indirects, par exemple le bénéfice d'autres activités occasionnées par la réalisation du projet

De même cette méthode, bien que tenant compte des considérations financières (présence de C au dénominateur) pourrait servir d'aide à un grand nombre de décisions stratégiques à PLN, comme le choix de l'implantation d'une unité de production d'énergie électrique.

En effet, l'incorporation dans la méthode bénéfice et coûts des avantages et inconvénients indirects mesurés en termes monétaires permet de tenir compte de considérations autres que financières i.e. économiques, sociales, et culturelles [WORLD BANK, 1995].

#### • Méthode des effets:

La méthode des effets est une méthode alternative des méthodes Bénéfice-Coûts classique (CHERVEL et GALL [1976], CHERVEL [1995]). La méthode des effets indirects a pour but de sélectionner les projets qui entraînent le plus de décisions induites, sa formulation se présente comme suit:

Choisir l'activité i telle que l'expression:

$$\sum_j X_{ij} p_{ij} \text{ soit maximum avec}$$

$X_{ij}$  = produits nets de j dus à i



$p_{ij}$  = probabilité création de l'industrie ( ou activité)  $j$  après l'implantation de l'activité  $i$ .

$j$  = industrie ou activité née de la création de l'activité  $i$

Cette méthode de s'intéresse qu'aux produits et de ce point de vue, elle est plus financière que la précédente. Toutefois, elle présente un intérêt au moins équivalent puisqu'elle s'intéresse aux produits du plus grand nombre d'activités pour la réalisation d'un projet.

En matière d'investissement électrique, dans notre cas en Indonésie i.e. l'entreprise d'état par exemple comme le PLN, cette méthode conduirait à des résultats intéressants aussi bien pour le choix de l'implantation d'un central qu'à pour l'électrification rurale.

En effet, l'implantation d'une centrale électrique pourrait dépendre des résultats qu'obtiendraient, pendant un temps donné, les industries que ferait naître le projet.

De même en matière d'électrification rurale, outre le confort matériel dont pourrait bénéficier les foyers ruraux, la désidérabilité d'un projet pourrait se mesurer aux résultats qu'obtiendraient les artisans dont il a entraîné la création.

Cette méthode comporte toutefois une difficulté majeure : l'évaluation correcte de  $X_{ij}$  suppose que l'on soit capable de dissocier les résultats nets dus à  $i$  des effets d'autres facteurs.

Les méthodes précédentes, qui vient d'être évoquées présentent la caractéristique de ne pas tenir compte seulement de l'intérêt de l'entreprise, mais également de celui de son environnement, c'est-à-dire l'économie dans son ensemble.

Toutefois, cet environnement n'est pas appréhendé dans toute sa dimension et sa complexité : tous les effets, notamment ceux dont l'expression est qualitative, ne sont pas pris en compte. Tous les éléments à considérer se ramènent à une même base monétaire. De plus, le fait d'exprimer les effets indirects en termes monétaires ne constitue pas forcément la meilleure interprétation possible, ni la plus précise (les données quantitatives non réductibles en termes monétaires sont le plus souvent exclues de l'évaluation).

Plus généralement, ces méthodes classiques, et a fortiori celles basées sur la rentabilité, ne permettent pas d'évaluer les effets créés par l'implantation d'une centrale électrique par exemple. En d'autres termes, certain choix en matière d'investissement de projets électriques, devraient tenir compte d'un grand nombre d'éléments sans tenter de réduire ceux-ci à une seule dimension en vu de les agréger par la suite.

La complexité du monde réel, imposée par les multiples objectifs et contraintes, est passée sous silence et les modèles d'évaluation et de sélection des projets concernés sont formulés en considérant en seul objectif (financier) et seule contrainte. En plus, la majorité



des méthodes et plus particulièrement celles actuellement mise en pratique, cherchent la meilleure décision économique (c/o, financier), tandis que dan l'environnement concerné, plusieurs autres variables dé décision doivent être nécessairement considérées.

Pour reprendre, notre travail dans cette thèse, il s'agit de préserver la multiplicité et l'individualité des dimensions et des critères monétaires, économique, spatiaux, stratégique, environnementaux, sociologiques, technologiques ainsi que d'effet qui induit la société et de ne pas chercher d'emblée à les agréger mais au contraire à les séparer pour rendre compte de la réalité sous ses innombrables facettes.

## CHAPITRE 2

### FONDEMENTS ET ELEMENTS METHODOLOGIQUES D'AIDE A LA DECISION

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les notions panoramique liées à la gestion des projets et les principales méthodes d'évaluation existantes pour sélection de projet. Cela nous conduit au fait que certaines méthodes seraient plus prometteuses qu'autres. Nous arrivons maintenant à la présentation des fondements et éléments méthodologiques d'aide à la décision qui nous paraissent importantes à retenir afin de comprendre l'orientation d'ensemble d'une aide à la sélection des projets proposée.

Ce chapitre concerne la discussion des concepts de base des théories de décisions, les éléments de méthodologie d'aide à la décision, l'information dans processus dans la recherche opérationnelle aussi l'information et sélection de projets liés à la veille stratégique pour le développement de l'aide à la décision.

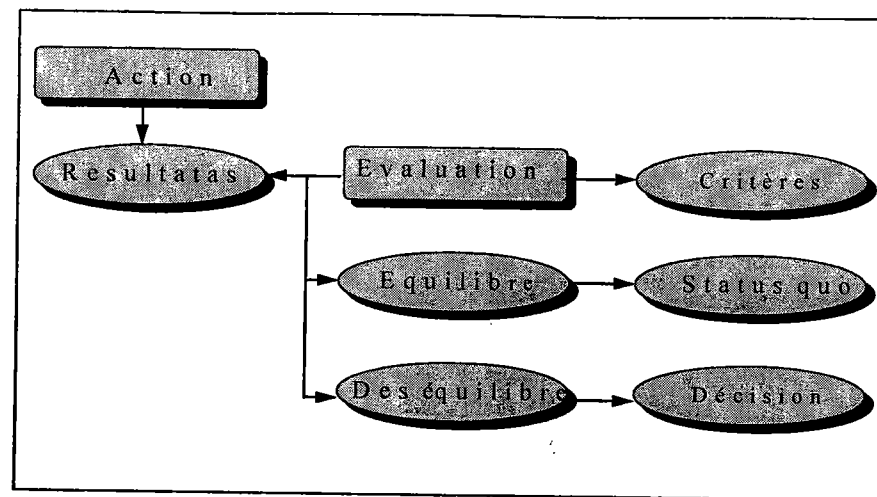
#### 2.1 PRINCIPES DE LA DECISION

La petite Laorusse définit la décision comme "l'action de décideur après examens", et décider, c'est "déterminer ce qu'il faut faire" et "choisir entre plusieurs possibilités" [SIMON, 1982]. Il résume de ces définitions que décider consiste à déterminer un projet d'action, après y avoir réfléchi. L'une réflexion est préalable, parce que nous actes ne peuvent être laissés au hasard si nous voulons qu'ils soient efficaces par rapport aux buts que nous sommes fixés.

Il y a en prise décision chaque fois qu'il faut élaborer un plan d'action comportant ou non différentes alternatives. Il est intéressant de montrer d'ici le mécanisme simplifié de la décision décrit par BENCHIMOL et JACOB.[1992].

Selon lui, on est conduit à agir de manière à ce que notre activité se déroule dans les meilleures conditions possibles vis-à-vis de critères en rapport avec de la finalité de cette activité.

Il y a opportunité de prendre une décision chaque fois que l'équilibre entre les résultats de nos actions et les critères que nous utilisons ou nous proposons d'utiliser pour évaluer est rompu. Il s'agit d'un mécanisme de régulation somme suite:



Source: BENCHIMOL et JACOB.[1992].

**Figure 2. 1** Mécanisme de régulation en prise de décision

Une activité peut se dérouler de manière répétitive, selon des procédures préétablies, elle peut aussi se heurter à des difficultés imprévues dues à un changement d'environnement une fois le projet établi [SIMON, 1980].

Il est possible également que l'on souhaite modifier ses critères d'évaluation et que cela entraîne des changements dans la conduite des affaires, un nouvel équilibre devant être trouvé les résultats de l'activité et les nouveaux critères utilisés

Le but de la décision d'après BENCHIMOL [1992] est donc de modifier les résultats de nos actions pour les rendre conformes aux critères d'évaluation que nous nous sommes fixés ou que nous sommes susceptibles d'adopter. La décision va-t-elle entraîner une modification de notre activité qui peut être caractérisée par:

- les entrées qu'elle utilise
- les acteurs qui y participent
- les moyens qu'elle met en œuvre
- l'environnement dans lequel se déroule
- les sorties ou les résultats qu'elles permettent d'obtenir

## 2.2 DIFFERENTES CLASSIFICATION DE DECISIONS

A la suite de la théorie de la décision, rappelons que SIMON[1980] a proposé deux types de décisions i.e.:

- les décisions programmées



- les décisions non programmées

Cette classification ne s'agit pas vraiment de deux genres différents, mais plutôt de tout continuum comportant à un bout les décisions fortement programmées et l'autre les décisions fortement non programmées.

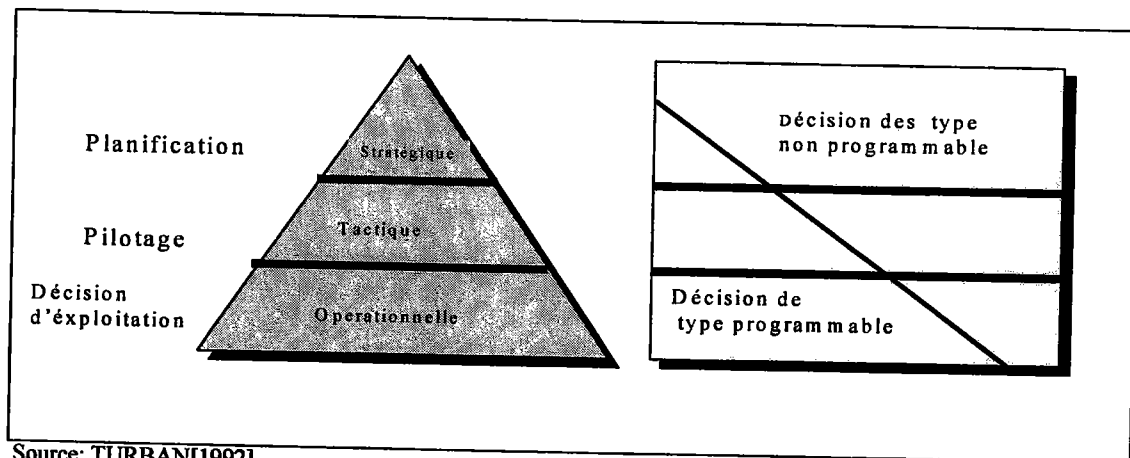
Selon SIMON[1980], les décisions sont facilement programmées dans la mesure où elles sont répétitives et routinières et où l'on a établi une procédure déterminée pour les effectuer de façon à ne pas avoir à les reconsidérer chaque fois qu'elle se présente.

Pour les décisions non programmées, elles sont non structurées et se présentent de façon inhabituelle. Dans ce contexte, il n'existe pas une méthode toute faite pour régler le problème, car il se pose pour la première fois, soit parce que sa nature et sa structure sont mal définies ou complexe et forte incertitude avec un conflit élevé (plusieurs acteurs avec des intérêts divergents), soit encore parce que son importance est telle qu'il mérite une solution sur mesure.

Par ailleurs par rapport au niveau hiérarchique, on peut classer les décisions en trois types qui sont liées à la hiérarchisation des objectifs:

- les décisions stratégiques
- les décisions tactiques
- Les décisions opérationnelles

Nous pouvons mettre en relation ces deux classifications dans la figure ci-dessous illustre cette comparaison:



Source: TURBAN[1992]

**Figure 2. 2** Relation de classification de type de décision

Au niveau stratégique, les décisions non programmées sont les seules parce que ses problèmes sont très variés. Dans ce niveau le décideur va utiliser en priorité son intelligence, les outils algorithmiques n'étant pas une aide suffisante.

Au niveau tactique, il y a équilibre entre les décisions programmées et non programmées. En effet, les décisions tactiques concernent l'organisation des ressources. On peut donc établir certains points de façon automatique, mais l'intelligence du décideur intervient quand même pour certaines décisions non modélisables.

Au niveau opérationnel, il y a prépondérance des décisions programmées. On est au niveau de l'exécution, les décisions sont donc déterministes. Il faut malgré tout, laisser une place aux aléas qui eux seront résolus grâce aux décisions non déterministes.

### **2.3 MODELE RATIONNEL DE PRISE DE DECISION**

Comme nous l'avons décrit dans ce sous-chapitre précédent, le terme prise de décision désigne un processus itératif tant fois se produit événement. Il est souvent employé pour désigner le choix entre différentes alternatives [SIMON, 1980].

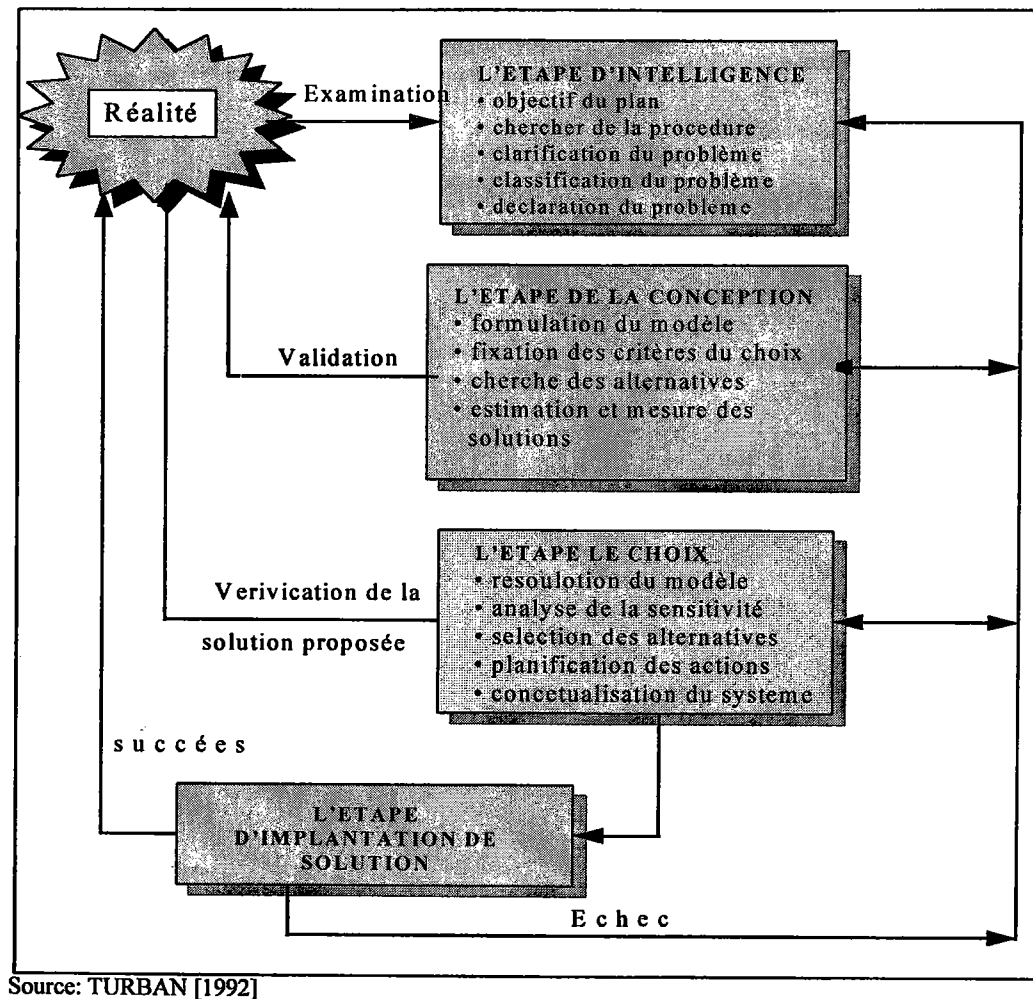
L'approche rationnelle de prise de décision indique que la prise de décision, fait toujours partie d'un processus de résolution de problèmes dont les diverses étapes sont caractérisées par des activités de nature distinctive.

SIMON [1980] propose un modèle descriptif du processus décisionnel que les chercheurs de la communauté acceptent. Ce modèle est la mise en évidence dans le processus décisionnel de l'aspect heuristique du raisonnement et la reconnaissance de la rationalité "limitée" des décideurs.

La tâche décisionnelle se résume à quatre étapes principales qui ont chacune des exigences spécifiques au niveau du support décisionnel :

- l'étape d'intelligence
- l'étape de la conception.
- l'étape du choix
- l'étape d'implantation

La figure 2.3 suivante illustre tous ensembles des phases de la prise de décisions qui peuvent être vues comme un processus itératif, après SIMON [1980]



**Figure 2.3** Mécanisme de la prise de décision de Simon

### 2.3.1. ETAPE D'INTELLIGENCE

Cette étape consiste à saisir les information pertinentes à caractériser le véritable objectif à analyser l'existence les problèmes et à identifier les constraints: elle peut se prolonger dans le temps en englobant l'apprentissage par expérience.

Elle inclut la détermination des critères d'évaluation et élaboration en fonction de la situation d'un système de hiérarchie des critères retenus. Chaque donnée importante doit être affectée d'une probabilité ou faire l'objet d'une estimation de sa réalisation car si décider c'est choisir c'est aussi trancher. Par le jugement, le décideur estimera la valeur la plus probable que pourra prendre telle grandeur indépendante de sa volonté.



Dans la réalité, un problème n'existe pas de lui-même, il faut le déceler et le formuler à partir des stimulus de l'environnement (*environment scanning*) ce qui implique un certain effort d'invention de la part du décideur.

Les perceptions du problème, son identification, donnent une occasion pour agir. Quel que soit le stimulus, l'étape d'intelligence exige des activités de collection des données de l'environnement, leur classification et traitement comprenant une représentation sélective de façon à attirer l'attention du décideur.

Cette étape constitue l'intrant du processus décisionnel. Quelques solutions très générales consistent à changer les variables environnementales considérées en modifiant leur signification.

### 2.3.2 ETAPE DE LA CONCEPTION

Cette étape compare la mise au point de stratégie propres à résoudre le problème posé en proposant pour chacun de ces stratégies un ensemble de manœuvres cohérentes.

Celles ci seront évaluées vis-à-vis de critères pourront être globaux ou déclinées suivant des caractéristique de plus en plus fines et hiérarchisées.

Elle consiste à envisager et à généraliser les solutions possibles, chacune d'elles menant vers une série d'actions à entreprendre. Elle implique une investigation qui se fait à l'intérieur du champ du problème du décideur délimité par la représentation ou l'image perçue du problème.

L'utilisation des modèles des sciences de management comme la Recherche Opérationnelle ou Management Science, des techniques d'analyse décisionnelle multicritères et des statistiques est très fréquente à ce niveau pour évaluer les conséquences des diverses actions possibles.

L'insuffisance de données peut amener un retour à l'étape d'intelligence, de sorte qu'il s'agit d'un processus itératif plutôt que séquentiel. FORMAN[1985] propose l'outil de support de la flexibilité au niveau de la modélisation où se trouvent des phénomènes d'interruption et de délais et de blocage indéterminé qui rendent compte de la complexité du processeur de décision non structurée.

### 2.3.3 ETAPE DU CHOIX D'UNE SOLUTION

Cela revient à retenir parmi les différentes stratégies envisagées celle qui répond le mieux aux critères considérés comme prioritaires dans l'échelle de préférence adaptée.

La probabilité d'occurrences de tel événement étant prise en considération, une solution qui pourrait être considérée comme la meilleure, en l'absence de cet événement pour être rejetée au profit d'une solution moins attrayante si la première risque d'entraîner un scénario catastrophe au cas cet événement apparaîtrait.

Elle constitue la partie visible du processus qui se solde par une décision. Bien que les conséquences soient connues, cette étape est loin d'être triviale. De nombreuses difficultés se présentent, tel la multi-dimension du problème, l'incertitude et le risque, les intérêts conflictuels des autres acteurs de l'organisation, l'irréversibilité du choix et les contraintes structurelles de l'organisation.

Devant, cette situation, le décideur aimerait obtenir des réponses à des questions de type "what if", ce qui nécessite une technologie de simulation et d'interaction pour faciliter la formulation des demandes.

#### 2.3.4. ETAPE D'IMPLANTATION

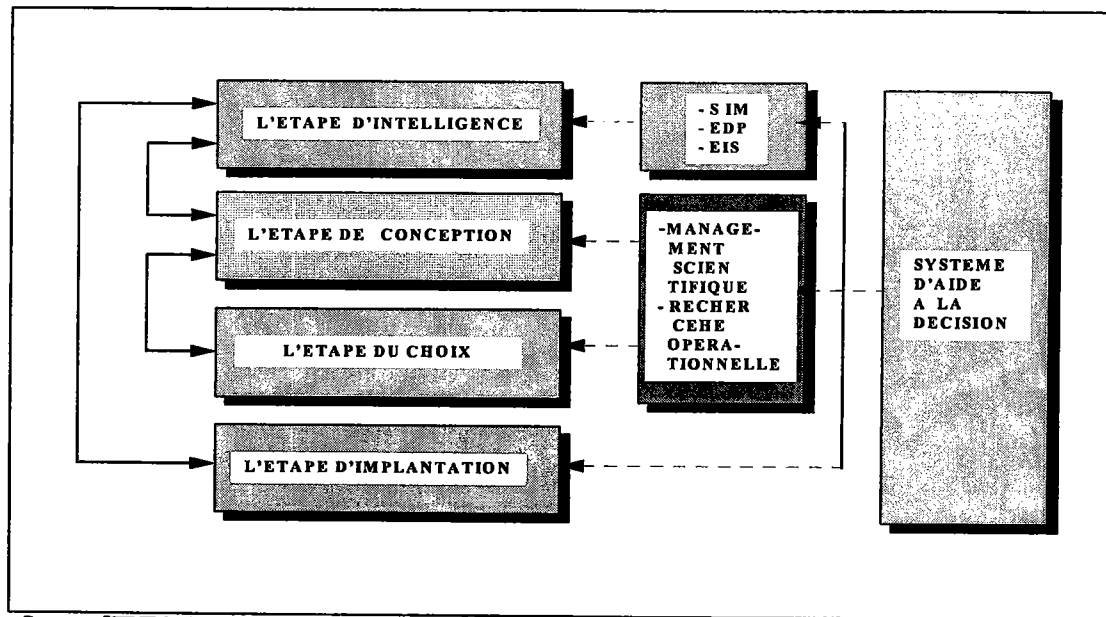
Elle consiste à introduire la solution ou les choix dans l'organisation. Cette étape fréquemment négligée dans les premières recherches s'avèrent actuellement très critique surtout si le choix incorpore une nouvelle technologie. Avec les constats d'échecs à ce niveau, tout un domaine de recherche s'est développé autour du thème de stratégie d'implantation.

Reconnaissant les problèmes de résistance au changement, ce type de recherche s'appuie sur les théories du changement organisationnel.

Le contrôle du "feed back" il était un moyen de réduire la dissonance cognitive du décideur. Généralement, la connaissance des effets d'une décision réalisée permet d'identifier des modifications subséquentes au niveau de la définition du problème.

L'information de rétroaction (feed-back) est évidemment vitale dans une implantation prototype. Dans cette étape, on exige la collecte de données relatives à la performance et le traitement et la production de rapports dans un format facile à interpréter.

TURBAN[1992] a figuré schématiquement les étapes de prise décision et son lien avec la catégorisation des Système d'Information retenu ("*Electronic Data Processing*"-EDP, "*Management Information System*"-MIS, "*Executive Information System*"-EIS et Système d'Aide à la Décision) et les types de l'approche de management i.e. "Management Scientifique" et "La Recherche Opérationnelle" de la façon suivante:



Source:[TURBAN, 1992]

**Figure 2.4** Étapes de la prise décision et la catégorisation du système d'information.

## 2.4 SYSTEME D'INFORMATION ET DE SUPPORT A LA PRISE DE DECISION

### 2.4.1 SYSTEMES D'INFORMATION

Il est difficile de parler de processus de la prise de décision sans tenir compte de l'aspect information. Réciproquement, l'information doit tenir compte de l'aspect décision, car elle peut être définie comme un processus de transformation de l'information en action.

L'information à considérer peut être évaluée en fonction de sa pertinence pour la prise décision et elle est importante parce qu'elle permet:

- de mesurer les résultats
- d'attirer l'attention sur les problèmes éventuels
- d'analyser la structure et la dynamique du système
- d'estimer la valeur des paramètres dans la situation présente

SIMON [1980] affirme que l'information est surtout importante parce qu'elle réduit l'incertitude qui accompagne la processus de décision et permet d'éviter décision fondées sur la subjectivité.



Dans ce point de vue, les décideurs sont des convertisseurs d'information. Pour prendre les bonnes décisions, les décideurs ont besoin d'informations fiables, compréhensibles, adéquates et efficaces.

Dans ce contexte, l'organisme a besoin d'un système d'information permettant de fournir l'information nécessaire au bon moment et à la bonne place afin de fournir au décideur l'état de toutes les facettes de son organisme. Ces sont classifiés comme le système de support décisionnelle.

D'un point de vue historique les premiers système d'information ont été les "EDP" (*Electronic Data Processing System*) qui collectent, traitent et stockent les données des transactions. Au-delà des TPS, la typologie suivante est retenu pour les système d'information [LARDERA et QUINIO, 1996] : "MIS" (*Management Information System*), "DSS" (*Decision Support System*) et "EIS" (*Executive Information System*).

Les MIS sont construits à partir des EDP dont ils synthétisent les information sous la forme de rapports à la périodicité et aux formates de présentation préétablis et difficilement modifiables. Les produits des MIS ne se sont pas révélés suffisants à la prise de décision des niveaux de managements élèves. pour cela les DSS ont vu le jour.

DSS peut être défini comme un système qui utilise des modèles concernant la relation entre décision et résultats pour aider dans la résolution de problèmes. Les DSS dépassent dans leur objectifs le contrôle du fonctionnement interne et ils nécessitent le recours à un modèle.

Un EIS peut être définir comme un système qui intégré de l'information en provenance de sources internes et externes permettant aux dirigeants de contrôler et de demander des information d'importance stratégique pour eux , information qui sont présenté de façon personnalisée.

SIMON [1978] fait explicitement distinction entre problématique structurée et non structurée comme un guide pour le choix de support décisionnel en faisant une séparation entre les tâche programmables et non programmables. Dans le contexte du projet, les décideurs ou les responsables du projet sont confrontés à un problème plus ou moins structuré. La nature de la problématique engendrée par les caractéristiques de l'environnement s'avère structurée ou non structurée ce qui influence la tache décisionnelle

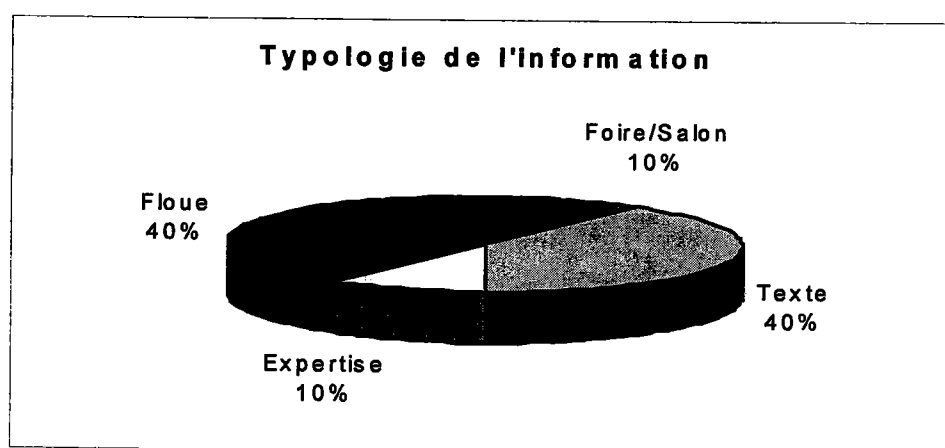
Nous pouvons représenter la catégorisation de SI retenus (MIS, DSS, EIS) et son lien avec les degré de structuration de problèmes et aussi avec les systèmes de support décisionnelle comme le montré au tableau suivant .

**Tableau 2.1** Degré de structuration de problèmes et des systèmes des supports décisionnels

Degré de structuration de problèmes	Type de décision par niveau			Type de Système d'information
	Opérationnelle	Tactique	Stratégique	
Structurée	Tableau de décision	Modèles des Régressions	-	MIS ou EDP
Semi-structurée	Méthode de PERT Statistiques Descriptives	Modèles de la Programmation Linéaire	Modèles Heuristiques	DSS
Non structurée	Simulation	Analyse Bayessienne	Méthode Delphi	DSS ou EIS

Pour prise de décision, elle peut prendre des formes très diverses: documents, écrits ou discours, échanges formel ou informels, messages électroniques graphiques

Quant aux sources d'information qu'elles soient techniques, formelles, informelles, économiques elles sont variées. Elles mettent en évidence des informations à caractère formel ainsi que des informations à caractère informel. DOU [1997] a figuré de typologie d'information comme le suivant:



Source: [DOU, 1997]

**Figure 2. 5** Typologie de l'Information

En ce qui la stratégie de l'information, c'est la Veille Technologique qui nous permet de réaliser une opération de sélection stratégique des informations en fournissant aux

décideurs un faisceau d'informations commentées à forte valeur ajoutée, mettant en évidence les forces et faiblesses de l'organisme.

La Veille Technologique comme étant l'activité de collecter des information, à partir des sources formelles et informelles, de traiter et exploiter les information par les logiciels pertinentes. L'activité se termine par la diffusion des résultats aux décideurs et en fin par une prise de décision.

Les objectifs de la veille technologique sont la détection de signaux faibles, la recherche de l'utile aux décisions et aux actions. DOU [1995] a montré l'ensemble des mécanisme mis en jeu dans la veille technologique d'une entreprise comme suit :

- Une volonté des décideurs
- Des facteur critiques à observer
- Un dossier général sur chaque facteur
- Des expert associés à un ou des facteurs
- Une réduction du dossier aux information critiques
- Une actualisation permanente des information critique
- La transmission vers les décideurs

## **2.4.2 SOURCES DE LA PRISE DE DECISION**

Le décideur ou les manager, dans son processus de prise de décision, utilise plusieurs sources d'information et de méthode de traitement de l'information. Un grand nombre de décisions sont prises sur la base de l'expérience cumulée et sur la base de modèles, même si ceux-ci demeurent intuitifs, s'ils sont stockés uniquement dans le cerveau du décideurs et ils ne sont pas clairement formulés sous forme analytique. D'autre décision prises avec l'aide de système d'aide à la décision plus formalisés.

MERUNKA [1991] affirme que le décideur, dans son processus de prise de décision, utilise couramment et combiné plusieurs sources comme suites:

- **Les expériences :**

L'expérience joue un rôle capitale dans qualité de la prise de décision. Pour les décisions simples et routinières, le décideur a déjà rencontre le même type de problème et possède une bonne évaluation de ce qu'il est désirable de mettre en œuvre. Dans le cas de problème complexe, l'expérience aidera leur importance. Elle ne suffira pas seule à sélectionner la meilleure solution.

- **Les standards :**

Les entreprises ou les organismes battent des politiques standard ou des règles de décision standard en partant de leur expériences passées. La rémunération du personnel, la gestion de la trésorerie peuvent être fixés en fonction de résultat ou de pratique standard calibrées sur les expériences passées. D'après MERUNKA [1991], ceci aide à la prise de décision, mais peut également nuire à la créativité et à la recherche de solutions originales.

- **Les données et les faits :**

La complexité même des phénomènes en gestion du projet conduit les décideurs ou les responsables du projet à collecter un grand nombre de données sur l'environnement. Les recommandations d'action ou les plans d'actions sont toujours justifiées par des faits.

Cependant, l'interprétation des faits repose en réalité sur l'expérience ou sur une série d'hypothèses qui sont le plus souvent peu clairement formulées.

Les décideurs ou les responsables du projet interprètent les données et les faits à travers de ses expériences et d'hypothèses non formulées. La qualité des recommandations ou des solutions adoptées dépend aussi bien de la qualité des hypothèses que de la qualité de données ou des faits interprétés.

En ce qui concerne à notre travail, bien que les données numériques existantes fournissent des informations pour le système d'évaluation des projets électriques comme les documents d'étude de faisabilité ou les rapports des recherches [PLN, 1992-1998; BAPPENAS, 1994], il existe également une ample information dans les bases de données qualitatives et surtout dans les modèles mentaux, fruit des expériences et des impressions intuitives des décideurs ou des experts. Il faut rappeler que l'information de ce type (expertise) constitue à-peu-près 10 % de toutes d'information [DOU, 1997].

- **Les modèles :**

L'utilisation de modèles dans l'aide à la décision devient de plus en plus fréquente dans le domaine de la gestion du projet. L'utilisation et la construction de modèles impliquent de la part des décideurs une définition précise du problème à résoudre. Cela nécessite aussi



une formalisation précise des objectifs poursuivis, des critères de décisions et de leur interception.

L'approche de la modélisation peut également faciliter l'accroissement des connaissances concernant le système d'évaluation de projets, l'emploi de l'information qualitative, et la possibilité de communication entre le décideur et les experts consultés, augmentant ainsi la quantité d'informations disponible pour l'un et la croyance en l'utilité du modèle pour les autres.

### 2.4.3 SYSTEME D'AIDE A LA DECISION (SAD)

#### 2.4.3.1 Élaboration d'instruments d'aide à la décision

Un axe de recherche connexe prend de plus en plus d'ampleur depuis une dizaine d'années [TURBAN, 1992]. Il s'agit des systèmes d'aide à la décision. Même si c'est un domaine en pleine évolution, on peut identifier les secteurs de connaissance qui le sous-tendent : prise de décision, informatique et modélisation.

L'objectif général d'utilisation des systèmes d'aide à la décision ( SAD ) est de fournir aide ou support au décideur afin de lui faciliter la tâche, tout en contribuant à l'amélioration de la qualité de la décision et du processus qui y mène. Les SAD visent à aider directement les décideurs de prise de décision en leur fournissant l'information importante à l'appui de leurs décisions.

Selon TURBAN [1992 ], la principale justification des SAD est d'améliorer l'efficacité des différents types de prise de décision des gestionnaires et des professionnels dans les organisations.

Par définition, un aide à la décision est défini par ROY [1985] de la manière suivante:

*"L' aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part".*

Ainsi définie, l'aide à la décision contribue à construire, à asseoir et à faire partager des convictions, elle ne relève donc que d'une façon très partielle d'une recherche de la vérité. [MAYSTRE, 1994].

En réalité, selon ROY et BOUSSOU [1993], elle correspond à la seconde des deux démarches possibles pour élaborer un modèle d'aide à la décision exposée ci-après:

- Une démarche descriptive dans laquelle le modèle d'aide à la décision est élaboré en faisant l'hypothèse qu'il existe, dans l'esprit des intervenants pour lesquels s'exerce l'aide, un système de préférences qu'il s'agit d'appréhender de la manière la plus fidèle possible, sans le perturber.
- C'est cette description d'un système de préférences, souvent réalisée au moyen d'une représentation numérique, qui conduit alors à l'établissement d'une recommandation. Ce système de préférence peut n'exister qu'à l'état latent.
- On suppose néanmoins dans cette démarche que , par application d'un certain nombre de principes de rationalité véhiculés par le modèle, la description du système de valeurs des intervenants permet d'inférer sans ambiguïté la façon dont deux actions quelconques se comparent en termes de préférence.
- Une démarche constructive dans laquelle on considère que les préférences des intervenants sont souvent conflictuelles, peu structurées, appelées à évoluer au sein du processus de décision et influencées du fait même de la mise on œuvre du modèle.

Le modèle d'aide à la décision est alors élaboré en cherchant à tirer parti de ce qui semble être la partie stable de la perception du problème qu'on les acteurs. Sur cette base, le modèle vise à leur fournir des concepts, des modes de représentation et de raisonnement leur permettant d'enrichir leur perception.

Grâce à des concepts rigoureux, des modèles bien formalisés, des procédures de calcul précises (notamment d'optimisation), des résultats d'ordre axiomatique, on doit pouvoir prétendre éclairer, accompagner scientifiquement des processus de décision notamment:

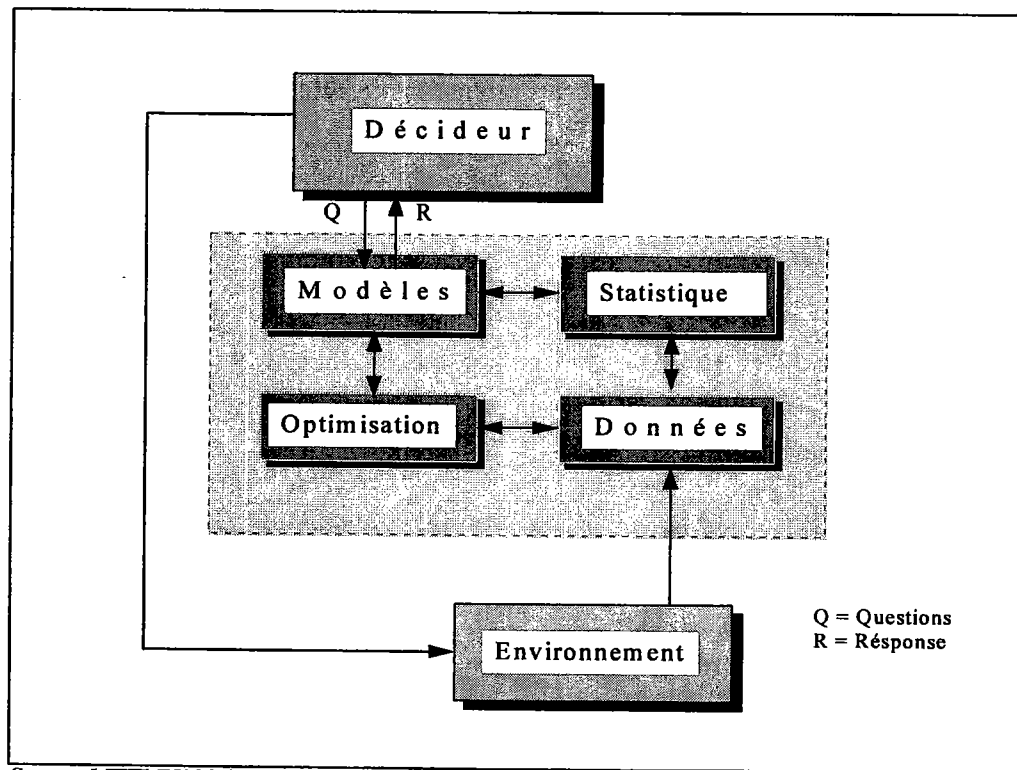
- en faisant ressortir ce qui est objectif de ce qui l'est moins,
- en séparant les conclusions robustes des conclusions fragiles,
- en dissipant certaines formes de malentendu dans la communication,
- en évitant le piège des raisonnements illusoires
- en mettant en évidence des résultats non controversables.

C'est le langage des modèles mathématiques de la théorie de la décision/la recherche opérationnelle et ces modèles sont les instruments de l'aide à la décision.

Les techniques générales d'aide à la décision ont recours à des modèles mathématiques ou qui permettent l'approche scientifique de la prise de décision. Les modèles multiattribut et multicritères permettent de pondérer une grande variété de facteurs. La recherche opérationnelle permet de recourir à des techniques mathématiques très avancés.

#### 2.4.3.2 Composant d'un système d'aide à la décision (SAD)

LITTLE [1989] propose un schéma descriptif des système d'aide à la décision qui est reproduit dan la figure suivante:



Source: LITTLE[1989]

**Figure 2.6** Éléments du système d'aide à la décision (SAD)

D'après lui, un système d'aide à la décision est constitué de cinq éléments principaux:

- Les données
- Les modèles
- Les statistiques
- L'optimisation
- L'interaction avec le décideur

- **Les données :**

Ces données sont celles que possède l'entreprise sur son activité, sur les marchés et consommateurs ou encore plus largement sur l'environnement.

Les données peuvent être objectives et formalisées comme dans un rapport d'étude ou peuvent être plus simplement constituées par le jugement des responsables/des managers.

- **Les modèles:**

Un modèle est avant toute une représentation de la manière dont les phénomènes se déroulent dans la réalité. ROY[1985] définit un modèle comme un schéma qui, pour un champ de questions, est pris comme représentation d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation et/ou à la communication.

A la limite, on peut considérer que tout effort d'observation, d'analyse, de réflexion ou de persuasion est sous-tendu par un (ou plusieurs) modèles sous-jacents. C'est pourquoi, la construction d'un modèle requiert la définition précise de variables qui agissent sur le phénomène étudié ainsi que la définition des relations entre ces variables.

- **Les statistiques :**

Des opérations statistiques quelquefois sont nécessaires pour traiter les données disponibles et les relier dans le sens spécifique par le modèle lui-même.

- **L'optimisation :**

Les décideurs ou les responsables de l'entreprise recherchent la meilleure action ou la meilleure décision possible. Ils peuvent être aidés en cela par un module d'optimisation.

- **L'interaction avec le décideur :**

Cette interaction est déterminante pour le bon fonctionnement du SAD. Les décideurs doivent avoir confiance dans les résultats fournis, ils doivent pouvoir les interpréter facilement pour finalement décider des actions à mettre en œuvre.

Il est souhaitable qu'en SAD complet puisse intervenir non seulement dans la phase d'analyse, de traitement et de modélisation des données mais aussi dans cette phase de la



prise de décision. FORMAN[1995] nous donne un résumé des caractéristiques souhaitables d'un SAD est fourni dans le tableau suivant.

**Tableau 2.2** Caractéristiques des systèmes d'aide à la décision

SAD couramment utilisés	SAD souhaitable
Complexe à simples	Simples à comprendre
Nécessitent l'intervention d'un analyse ou d'un expert	Interactif et conversationnelles
Collecte des donnée longue et coûteuse	Collecte des donnée immédiates
Robustes (donnent de bonne réponse)	Robuste
Souples d'utilisation à rigides d'utilisation	Souples d'utilisation
Fournissent un guide pour l'action	Permettent d'assister à la prise de décision

Source: [FORMAN,1995]

En plus des caractéristiques souhaitables des SAD décrites plus haut, un bon système SAD doit pouvoir répondre à la complexité des problème rencontre en selection et évaluation d'un projets, il doit donc:

- pouvoir traiter différentes solution alternatives
- pouvoir considère de nombreux critères et objectif souvent contradictoires
- permettre au décideur d'incorporer des données objectif mais aussi des données subjectifs basées sur un expériences
- offrir un support efficace pour la prise de décision par un groupe de décideurs ou les responsables aussi bien que pour la prise de décision au niveau individuels.

## **2.5 INFORMATION ET RECHERCHE OPERATIONNELLE**

### **2.5.1 METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE OPERATIONNELLE**

Comme nous l' avons décrit au chapitre plus haut, le management scientifique (c/o la modélisation et la programmation mathématique) et la recherche opérationnelle sont considéré comme d'une éléments des systèmes des supports décisionnels de SAD.

La recherche opérationnelle est connue comme la théorie de la décision et l'ensemble de ses techniques d'application. Elle se développe fortement après la seconde

guerre mondiale. A la première vue, la recherche opérationnelle est un agrégat de techniques et de méthodes soutenues par une constante formalisation mathématique.

Plusieurs explications constatent que les espoirs investis dans la recherche opérationnelle ont cédé le pas à un profond scepticisme. Les théories de la décision n'ont pas tenu leurs promesses. Selon ACKOFF [1979], ces techniques ont perdu de leurs originalités et d'interdisciplinaire et elles sont devenues de plus en plus une discipline unique.

Il y a des raisons de refuser l'hypothèse théorique de la décision qui est basée sur la perfection et l'exhaustivité des informations de base possédées par les hommes d'étude dans le processus de décision. Celles-ci ont été fondées sur les explications suivantes:

- **L'information est coûteuse**

Aucune information, tant un niveau de la collecte qu'en conservation et en exploitation, ne peut prétendre être gratuite. Le prix des informations extérieures à l'organisme est très lourd, tant en hommes qu'en moyens de calculs et en investissement.

- **L'information est éphémère**

Le délai qui sépare l'établissement d'une information est sa péremption, totale ou partielle, tend à se raccourcir considérablement.

Il n'est pas rare que l'introduction d'une nouvelle technique, bouleverse en moins de quelques mois tout le jeu économique, malheur à ceux qui continuent alors à se fixer sur les données en leur possession.

- **L'information est partielle**

Conséquence directe de son coût, les organismes ou les entreprises ne disposent que d'informations sur des domaines de préoccupation bien définis. Ces zones de connaissance peuvent d'ailleurs aussi bien se trouver délimitées par une volonté initiale clairement exprimée, que, cas le plus fréquent, trouver leurs frontières au gré des événements et des variations des ressources disponibles

La perception sélective est un phénomène très banal, les décideurs tendent ainsi à ne retenir qu'un certain aspect des informations qui leur sont soumises.

- **L'information est imparfaite**

Toute information à la disposition d'une entreprise est priori susceptible d'être entièrement fausse, même si sa date d'établissement atteste de sa fraîcheur, sans aller jusqu'à citer les grossières erreurs de transmission.

Le jugement d'expert prévaut dans bien des cas et souvent lui seul permet de structurer des conclusions cohérentes. On ne peut que l'accepter en l'absence d'avis contraire, ce qui n'impose pas de lui vouer une confiance aveugle qui peut être fatale.

Nul n'ignore, bien plus, que la conception même que se font les experts des faits peut changer du tout au tout selon le modèle de représentation du monde sur lequel ils s'appuient. Le flou, les incertitudes sont donc des attributs des informations à la disposition de l'organisme.

Cependant, il est apparu clairement depuis plusieurs années que certains aspects de la conception et certains principes fondamentaux des théories de décisions combinés avec les autres disciplines sont utiles pour assister aux processus de prise de la décision, par exemple avec le développement de système d'aide à la décision interactive, expert système etc. [TURBAIN,1992].

La Recherche Opérationnelle peut être considérée comme une procédure générale constituée d'une séquence d'étapes qui suit. Dans ce sens, le processus de recherche opérationnelle est divisé en différentes d'étapes.

Les étapes de la modélisation en recherche opérationnelle peuvent être résumées dans la figure suivante (figure 2.7).

Au niveau de l'abstraction, tel modèle donne l'information des activités dans le processus à effectuer de la recherche opérationnelle. Il est important à remarquer que ce modèle traditionnel considère un système comme un être mécaniste, absolu et quantitatif.

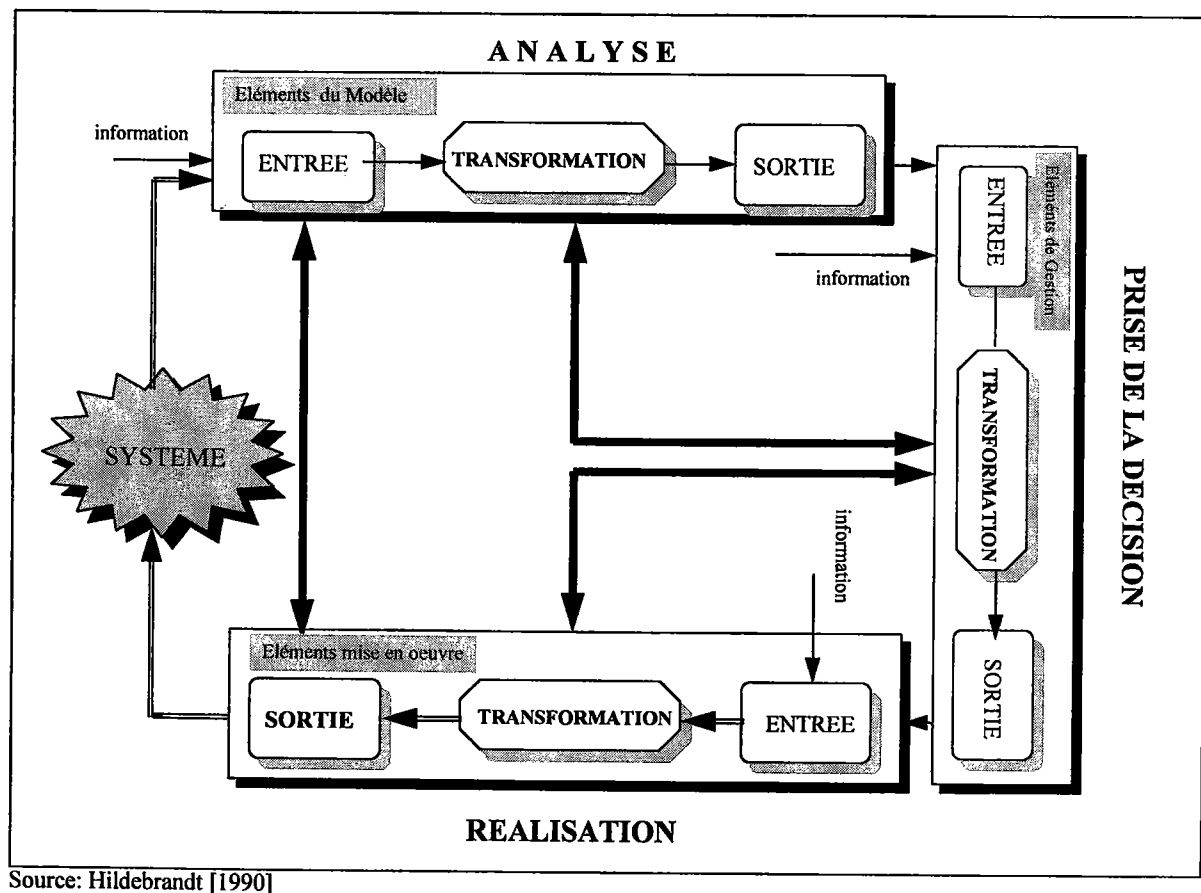
La phase modélisation dans la méthodologie de la recherche opérationnelle est nécessaire mais n'est pas suffisante pour affronter le processus de prise de décision en vue d'un système général.

Dans la perspective d'un homme d'étude, le processus de la modélisation de la recherche opérationnelle est considéré comme un processus d'innovation accentuant le rapport entre des facteurs éléments. Dans une organisation niveau de connaissance, l'influence du personnel, l'interaction sociale et certains facteurs l'environnementaux d'organisation sont importants pour caractériser et structurer une organisation.

### 2.5.2. SYSTEME DU PROCESSUS DE RECHERCHE OPERATIONNELLE

Au point de vue de théorie général des systèmes, Hildebrandt [1990] argue que les étapes d'activités en recherche opérationnelle sont comme un système constitué de plusieurs sous éléments concernés par les relations entre ces derniers.

Dans ce modèle, tel élément du sous système est conçu à une certaine phase de processus de la recherche opérationnelle c'est-à-dire la phase de la conceptualisation, la phase de la modélisation etc. L'élément du sous système n'existe qu'en vertu de relation de l'un avec les autres. L'interaction entre éléments pertinents dans l'activité du processus est présentée dans la figure suivante.



Source: Hildebrandt [1990]

**Figure 2.7** Eléments d'interaction dans le processus de la Recherche Opérationnelle

Au niveau abstrait, le modèle du processus de la recherche opérationnelle se décompose en trois sous processus pertinents:

- processus d'analyse (composant de la recherche opérationnelle)
- prise de la décision



- processus de la réalisation (éléments de mise on œuvre).

Chaque élément est considéré comme faisant parti de la collection des informations (entrée), des procédures (traiter) des informations et de la délivrance des informations (sortie). De ce point de vue, les processus de la recherche opérationnelle sont des convertisseurs l'information d'un éléments de système réel (problématique) à l'information du modèle. La prise de la décision peut être interprété comme un processus de transformation de l'information du modèle en action ( voir la figure 2.9).

Il est important de noter, dans ce modèle, que c'est grâce à la recherche opérationnelle que l'on va créer une synergie entre l'homme d'étude et l'information élaborée qu'il va développer.

### 2.5.3 MODELE ET CONCEPTION DES 'INFORMATIONS

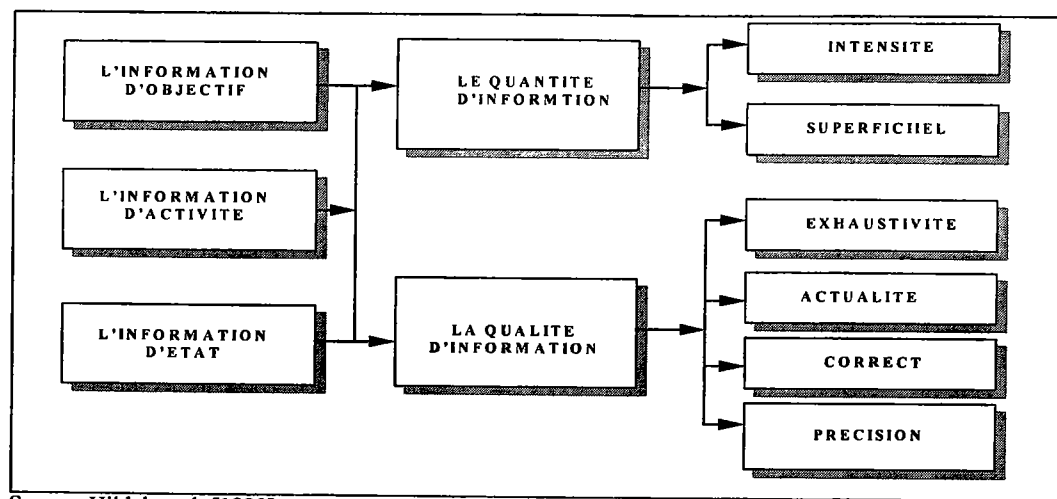
Beaucoup de chercheurs constatent que la recherche opérationnelle a tendance de ne pas bâtir un modèle moins attaché au processus plutôt qu'aux résultats . Ainsi, elle met l'information à considérer comme seulement de matière technologique et économique.

Comme mentionné précédemment, la problématique dans le processus de la recherche opérationnelle peut être divisé en trois processus différents soit le processus d'analyse, soit la processus de prise de la décision et soit la processus de la réalisation

Il est possible de percevoir que le processus de recherche opérationnelle ou système d'analyse est un traitement d'information trivial afin d'introduire des améliorations dans le système.

On remarque que les processus principaux de recherche opérationnelle sont les étapes de la formulation et de la construction du modèle. Nous pouvons commencer en disant que l'activité de la formulation du problème résulte de l'information liant à des objectifs, les actions et les ensembles de circonstances d'état.

Le point de départ du processus de recherche opérationnelle est alors une description de l'état actuel des systèmes étudiés. Afin de construire un modèle de système étudié , tout d'abord if faut identifier son information. .Pour la description du contenu et de la caractéristique des informations, nous pouvons distinguer la qualité de la quantité de cette information comme exposé dans la figure suivante



Source: Hildebrandt [1990]

**Figure 2.8** Conceptuel de l'information dans la Recherche Opérationnelle

Après HILDEBRANDT [1990], l'information superficielle se réfère au nombre d'informations utilisées spatial, aux éléments, à leurs attributs et au temps. L'information intensive réfère aux informations détaillées des descriptions à l'égard de la caractérisation des éléments individuels et précis.

Il est important d'évaluer la qualité d'information. Pour concevoir la qualité de l'information, il faut voir si les informations sont superficielles ou si l'information disponible reflète les comportements des facteurs critiques.

Au niveau plus haut, les degrés d'adéquation du contenu de l'information à la description du modèle et des propriétés réelles, la meilleure l'information peut être utilisée pour prédire la réalité la plus complète de la plus grande quantité d'information.

La qualité d'information peut être évaluée par le concept de complément et d'exactitude. La complétion d'information est définie comme le degré ou il y a déficience ou omission lorsqu'on la compare avec des faits réels.

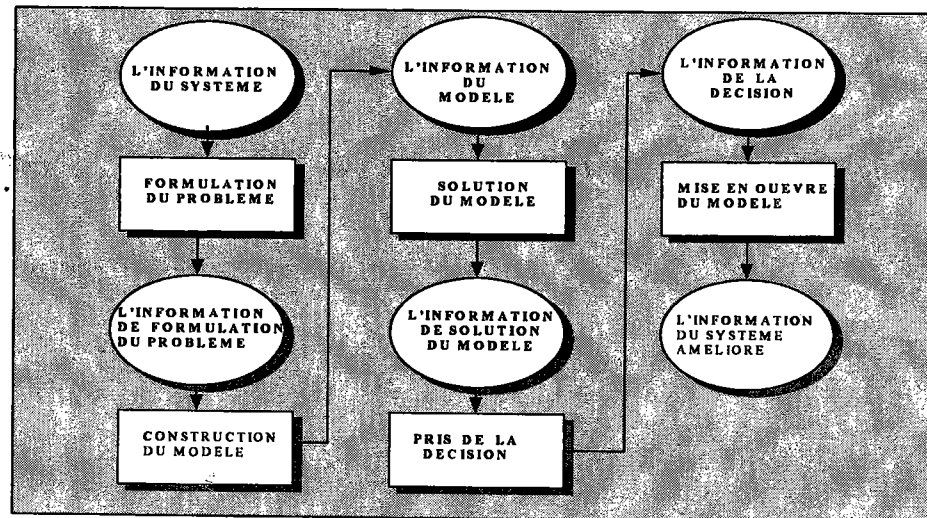
Un aspect spécifique de l'information c'est-à-dire une évaluation du moment où l'information est périmée au temps ou à la période pour laquelle elle doit être utilisée.

Pour chaque catégorie d'information, il est possible de considérer la quantité de l'information en deux aspects c'est-à-dire l'aspect superficiel et l'aspect d'intensité.

En ce qui concerne le processus d'information dans la recherche opérationnelle, on considère que ceux qui sont essentiels au processus de recherche opérationnelle sont le processus d'analyse de décision et d'information qui permet de caractériser soit l'information

sur le problème, soit l'information sur la formulation du problème, soit l'information sur la prise de décision, soit l'information sur les systèmes de décision

A partir de là, il illustre le processus d'information essentielle dans la recherche opérationnelle fournit par chaque étapes d'analyse comme le montre à la figure suivante:



Source : HILDEBRANT[1990].

**Figure 2.9** Processus d'information dans la Recherche Opérationnelle

## CHAPITRE 3

### METHODOLOGIE GENERALE DE LA RECHERCHE : D'AIDE A LA DECISION MULTICRITERES ET D'OPTIMISATION MULTIOBJECTIFS

Dans le chapitre précédent nous avons mentionné que l'évaluation et la sélection de projets publics nécessitent des études ou des évaluations sur les critères multiples et conflictuels qui sont souvent incompatibles avec des dimensions à critère unique. Afin de permettre d'optimiser bien tel problème, on a besoin de créer un modèle d'aide à la décision multicritère et multiobjective.

Avant d'entrer dans la description des telles approches, il est peut être utile de noter quelques points importants de ce domaine et de l'état de l'art. Le premier survol du domaine fut celui de KEENEY et RAIFFA [1976]. Depuis on trouve l'étude systématique de HWANG et YOON[1981] ainsi que le livre de GOICOECHEA [1982]. Les méthodes sont aussi largement abordé dans les travaux de ZELNY [1985], HAIMEZ et CHANKONG[1985], TABUCANON [1992], POMEROL et BARBA-ROMERO [1993].

Il est impossible de décrire toutes méthodes proposées trouvées dans littérature à notre présent travail. Très nombreuses méthodes ont été développées par exemple DESPONTIN et.al. [1983] ont rempli une liste, presque complète à l'époque, de 96 méthodes multicritères et multiobjectifs, en discret comme en continu. Par ailleurs, l'objectif de notre travail n'est pas de faire un exposé détaillé des nombreuses méthodes multicritères et multiobjectifs proposées dans la littérature.

Les sous-chapitres suivants ne présentent que les principales méthodes multicritères qui ont dominé dans la littérature. Nous allons s'attarder et exposer beaucoup plus sur la méthode de la Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP) qui a dominé la littérature dans le domaine de la théorie multicritères depuis le début des années 1985. On va essayer aussi de souligner les principales faiblesses et les avantages de cette méthode très populaire qui est méthode AHP

Nous également présenterons beaucoup plus sur la méthode programmation mathématique à objectifs multiple du "*Goal Programming*" qui fera l'objet d'une



application et avec laquelle nous nous utiliserons pour "optimiser" de problème décision multiobjectif.

### 3.1 APPROCHE MULTICRITERE

Pendant très long temps, les modèles utilisés pour le système d'aide à la décision considéraient un critère ou objectif unique. En fait, la nature conflictuelle et l'incompatibilité des critères ou objectif multiples ne permet pas de les réunir et de les traiter en une seule entité [HOLIN, 1981].

Dans le problème de sélection de projet, il est rare que les critères d'évaluation des projets candidats soient uniques. L'objectif sera souvent multiple et fréquemment elles sont contradictoires. Supposons que le gouvernement ait  $p$  projets proposés et les responsables veuillent choisir parmi ceux-ci, celui qu'il mettra effectivement en œuvre. Parmi ses critères de décision, on considérera certainement le rendement prévisionnel de l'investissement mais on regardera aussi son montant total, son intérêt en terme de stratégie et on sera peut être aussi forcée de considérer l'impact social ou l'impact sur l'environnement des projets étudiés. Il est clair que le projet mieux conçu du point de vue de l'environnement n'est pas forcément le moins coûteux

Les méthodes d'aide à la prise de décision face à des critères multiples visent, justement, à fournir au décideur une solution satisfaisante en prenant en compte tous ces facteurs simultanément.

#### 3.1.1 APPROCHE MULTICRITERE CLASSIQUE

La modélisation multicritère a suscité un intérêt considérable et a connu un essor remarquable durant les deux dernières décennies, comme en témoignent le grand nombre et la qualité des publications traitant du sujet, qu'il s'agisse de volume, d'article dans des revues scientifique ou de comptes rendus de congrès [POMEROL et BARBARA ROMERO, 1993]. Les différentes méthodes développées sont souvent classées sous l'appellation "aide à la décision". Celle-ci désigne généralement un ensemble de méthodes permettant d'agréger plusieurs critères afin de sélectionner une ou plusieurs "actions". Elle vise à fournir au décideur des outils qui lui permettront de progresser dans la résolution d'un problème de décision ou plusieurs objectifs, souvent contradictoires, doivent être pris en compte.

Les autres spécialistes [VINCKE, 1989, SCHARLIG, 1985] de l'analyse multicritère ont divisé les méthodes en trois grandes familles :

- la théorie de l'utilité multiattribut (MAUT)
- les méthodes de surclassement
- les méthodes interactives

MAYSTRE et.al [1994], quant à lui, parle de méthode d'agrégation respectivement complète, partielle et locale. Selon lui, trois approches opérationnelles peuvent être distinguées:

- approche du critère unique de synthèse évacuant toute incomparabilité (agrégation complète transitive)
- approche du surclassement de synthèse acceptant l'incomparabilité (agrégation partielle)
- approche du jugement local interactif avec itération essai-erreur (agrégation locale et itérative).

La figure 3.1 montre comment les différentes méthodes se rattachent à l'une de ces trois approches opérationnelles. La méthode AHP est classée à l'approche du critère unique de synthèse, la méthode multiobjectif du Goal Programming à l'approche du jugement local et interactif et toutes les méthodes ELECTRE appartiennent à l'approche du surclassement de synthèse acceptante l'incomparabilité.

Il est intéressant de noter, il y a une évolution dans les préoccupations des chercheurs du point de vue du développement des méthodes. D'abord intéressés par la seule recherche des solutions efficaces, ils ont ensuite tourné peu à peu vers la détermination interactive d'une solution de compromis.

En effet, plusieurs des méthodes interactive ont d'abord été développées dans le cadre de la programmation mathématique multiobjectifs. Cette évolution illustre clairement le passage de ce qu'on appelait MCDM (*multicriteria decision making*) à ce qu'on appelle de plus en plus MCDA (*multicriteria decision aid*). En fait, les méthodes multicritères appelées communément MCDM comprennent deux grandes catégories [HWANG et MASUD, 1979]:

- les méthodes d'aide à la décision multiattribut (MADM)
- les méthodes de décision à objectif multiples (MODM)

Les méthodes multicritères sont destinées à prendre une décision en présence de critères multiples et souvent conflictuels. L'utilisation d'une méthode MCDM est nécessaire lorsqu'on cherche à résoudre un problème présentant les caractéristiques suivantes:

- objectifs ou critères multiples
- critères conflictuels
- unités incommensurables

Le tableau 3.1 suivant montre les principales caractéristiques liées à chacune des deux catégories de méthodes.

**Tableau 3.1** Comparaison méthode MADM et MODM

Facteurs	Méthode multiattribut (MADM)	Méthode des objectifs à multiples (MODM)
Critères	attributs	objectifs
objectifs	implicites	explicites
attributs	explicites	implicites
contraintes	inactives (incorporées dans les attributs)	actives
alternatives	nombre fini et discret	nombre infini et continue (intègre)
interaction avec le décideur	rarement	plus souvent
usage	problème de sélection/évaluation	problème de conception et de "design".

Source: HWANG et Yoon. [1981]

Les méthodes multiobjectifs (MODM) les actions possibles suivant ne sont pas prédéterminées et forment un ensemble illimité implicitement défini par des contraintes. La caractéristique commune de ces méthodes est qu'il existe un ensemble d'objectifs et un système de contraintes à l'intérieur duquel l'ensemble des objectifs est satisfait au mieux et un processus de comparaison des actions possible

### 3.1.1.1 Méthodes de pondération (*weighting methods*)

Il est assez courant en analyse multicritère, que le décideur pense spontanément qu'un critère est plus important qu'un autre. Pour des raisons diverses, parmi lesquelles ses préférences personnelles, le décideur peut considérer qu'un critère est plus, ou moins

important que les autres. Nous appellerons poids cette mesure de l'importance relative entre les critères telle qu'elle est vue par le décideur.

La formule mathématique la plus simple dans la famille de méthodes multicritères est la moyenne pondérée qui peut prendre la forme suivant:

$$R(a_i) = \sum_{j=1}^m w_j a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

Où:

- $R(a_i)$  = évaluation globale d'alternative  $a_i$
- $a_{ij}$  = performance de l'alternative  $i$  sur critère  $j$
- $n$  = nombre d'alternatives potentielles
- $m$  = nombre de critères d'évaluation
- $w_j$  = importance relative du critère  $j$  dans l'évaluation

Cette méthode consiste en les étapes suivantes [SOUDER, 1984] :

1. Dresser la liste des critères ou caractéristiques du système envisagé
2. Affecter à chacun un poids qui mesure l'importance que lui attaché le décideur
3. Attribuer un ordre numérique qui indique à quel degré le système la caractéristique recherche
4. Déterminer la cote poids-rang de chaque système et choisir le mieux coté.

La formule mathématique utilisée impose des propriétés qu'il est important de connaître pour éviter de l'utiliser de la façon inconsidérée. Par exemple, la forme additive implique que les taux de substitution entre les points de vue soient constants et que soient satisfaites les propriétés d'indépendances préférentielles qui ont été largement étudiées dans la théorie de l'utilité" multiattribut [ZELENY, 1982]. C'est la forme la plus ancienne, et donc qui a vu beaucoup d'applications dans divers domaines.

Par exemple, SOUDER [1984] suggère un "*modèle scoring*", une variante importante de cette catégorie de modèles, pour déterminer le projet industriel qui devraient être choisi. Les modèles "*scoring*" ont également été appliqués par pour effectuer un choix entre un projet public

TANG et PHATARALAOHA [1987] procèdent en cinq étapes dans leur application du modèle "*scoring*" pour l'évaluation et la sélection de projet public :

1. Développer une liste de projets proposés à réaliser



2. Déterminer les facteurs critiques éventuels susceptibles d'écarter certains projets
3. Définir les mesures des facteurs objectifs (OFM<sub>i</sub>)
4. Définir les mesures des facteurs subjectifs (SFM<sub>i</sub>) qui ont été donnés par un score d'échelle de 0 à 10
5. Déterminer la mesure performance de l'option i (PM<sub>i</sub>) en considérant les deux mesures objectives et subjectives ainsi calculées aux étapes 3 et 4 :

$$PM_i = (\alpha) OFM_i + (1 - \alpha) SFM_i \quad (3.2)$$

Le coefficient ( $\alpha$ ) dépend de la préférence du gestionnaire accordé aux mesures subjective et objective. On limite à cette description sommaire, pour plus descriptions de détail, nous recommandons de consulter l'article en question.

L'autre modèle "scoring" a été également développé pour sélectionner et promouvoir d'investissement des projets industriels en Thaïlande [MASUM et TABUCANANIN, 1991]. Ce modèle ne fait que substituer à un problème multicritère du type:

$$\text{Optimiser } \{g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a) \mid a \in A\} \quad (3.3)$$

un problème multicritères du type

$$\text{Optimiser } \{U(a) \mid a \in A\} \quad (3.4)$$

Où :

$$U(a) = U \{g_1(a), g_2(a), \dots, g_m(a) \mid a \in A\}$$

$U(a)$  : une fonction, appelée d'utilité, qui agrège les m critères

$A$  : l'ensemble des solutions alternatives

$g_1, g_m$  : les m critères d'évaluation de ces alternatives, qui peuvent aussi exprimer les objectifs du décideur.

La fonction d'utilité  $U(a)$  est construite en tenant compte de l'information disponible concernant les préférences du décideur. Le plus souvent, on utilise là aussi une forme additive:

où :

$$U(a) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot u_j[g_j(a)] \quad \lambda_j \geq 0 \quad (3.5)$$

$u_j$  : est la fonction d'utilité marginale correspondant au critère  $g_j$

$\lambda_j$  : un coefficient de pondération

Cette approche présente au moins deux inconvénients i.e. :

- La structure de l'équation (3.4) est différente de celle de l'équation (3.3): La relation de dominance est remplacée par un ordre total sur A. D'une façon générale, une solution optimale est proposée pour des problèmes qui par leur nature n'en possèdent pas
- La détermination des utilités  $u_j$  et des coefficients  $\lambda_j$  est délicate et influence les résultats obtenus.

Cette étape de la collecté de donnée de préférences est crucial et constitue un problème difficile car il n'existe pas à notre connaissance de méthodologie générale très claire. La manière d'interroger un individu peut influence son comportement. C'est l'une des raisons qui incitent les décideurs à se rabattre sur des logiciels interactifs conviviaux tels que "Expert Choice" de l'AFP [FORMAN et SAATY, 1995].

### 3.1.1.2 Théorie de l'utilité multiattribut (MAUT)

La théorie de l'utilité multiattribut repose sur l'axiome fondamental suivant: les préférences du décideur peuvent être modélisées par une fonction unique qui agrège tous les points de vue à prendre en compte.

On aura donc:

$$U = U(g_1, \dots, g_j, \dots, g_n) \quad (3.6)$$

où:

$g_j$  : un critère appartenant à la famille des critères F

La fonction d'agrégation complète des critères U est appelée de valeur ou fonction d'utilité multiattribut. En supposant l'existence de cette fonction, la théorie de l'utilité multiattribut postule la complète comparabilité transitive. De ce fait, la structure

relationnelle de préférence qu'elle définit sur l'ensemble des actions  $A$  est un préordre complet.

Aussi, si on appelle  $S$  la relation caractéristique de cette structure de préférence, on peut écrire:

$$\forall a, b \in A \quad U[g(a)] \geq U[g(b)] \Leftrightarrow a S b \quad (3.7)$$

Il en découle que le critère de synthèse  $U$  est un vrai critère. Par conséquent, toute situation éventuelle d'incomparabilité est exclue et la transitivité des relations de préférence est assurée.

La méthode MAUT a été développée dans le cas incertain. C'est ainsi qu'elle fait largement usage des probabilités pour représenter les phénomènes d'impression et d'incertitude qui peuvent apparaître dans un problème de décision et fait appel au concept de l'utilité espérée pour comparer des actions aux conséquences aléatoires [KEENEY et RAIFFA, 1976].

La fonction d'agrégation des critères peut prendre plusieurs formes analytiques: additive, multiplicative, mixte. La forme analytique la plus fréquemment utilisée pour construire, cette fonction est la forme additive. Dans ce cas, il est possible d'écrire:

$$U(a) = \sum_{j=1}^n U_j(g_j(a)) \text{ avec } a \in A \text{ et } g_j \in F \quad (3.8)$$

Pour tout  $j$  allant de 1 à  $n$ , la fonction  $U_j$  représente la contribution des critères  $g_j$  dans l'utilité additive.  $U_j$  est également appelée utilité partielle du critère  $g_j$ .

Comme chaque critère  $g_j$  est une fonction définie dans  $A$  et qui prend ses valeurs dans l'ensemble totalement ordonné  $X_j$  des états possibles de  $g_j$  le modèle additif s'écrit aussi:

$$U(a) = \sum_{j=1}^n U_j(X_j^a) \quad \text{où } X_j^a = g_j(a) \quad (3.9)$$

L'adoption de la forme additive suppose la réalisation d'un certain nombre de condition. En effet, le modèle additif impose:

- que les préférence suivant chaque critère ainsi que la préférence globale constituent des structures de préordre total

- que les critères soient indépendants au sens des préférence c'est-à-dire que la contribution partielle  $U_j$  de chacun des critères  $g_j$  à utilité soit indépendante des valeurs que prennent les autres critères.

Cette dernière condition repose sur le théorème de l'indépendance des préférences. La construction d'une fonction d'utilité multiattribut additive, peut être réalisée selon différentes méthodes, il s'agit notamment:

- de la méthode des taux de substitution.
- de la méthode de la somme pondérée
- de la méthode du Goal Programming .

Nous limitons à cette description sommaire, pour plus de détails, nous recommandons de consulter les articles concernés. Cependant, il est important à noter quelques avantages aussi critiques de MAUT.

La méthode MAUT présente plusieurs avantages après ZELNY [1983]:

- La méthode permet de ranger toutes les actions possibles de la meilleure à la moins bonne, ce qui à le mérite de faciliter la prise de décision
- L'agrégation des divers critères en une fonction de valeur unique permet de substituer le problème multicritères par un problème mathématique bien posé: celui de l'optimisation d'une fonction.
- En assurant la décomposition de la fonction d'utilité en fonction d'utilités partielles, la méthode MAUT offre la possibilité de prendre en compte les différents groupes d'intérêt concernés par la décision: il suffit pour cela de traduire les objectifs respectifs de ces groupes en critères de décision.

Cependant, cette théorie a fait l'objet d'un certain nombre de critiques:

- La modélisation des préférences par la fonction d'utilité aboutit à écarter certaines attitudes coutumières et à extrapoler des préférences non explicitement révélées.
- En supposant l'existence de la fonction d'utilité, la méthode MAUT retient comme système relationnel de préférence le système comportant les seules relations de préférence stricte et d'indifférence.
- Pour bâtir complètement et directement une fonction qui agrège tous les critères, la méthode MAUT suppose qu'il a compensation illimitée des préférences. Or, en pratique, cette compensation s'effectue dans des limites bien précise et sous certaines conditions.



- Pour pouvoir appliquer la méthode MAUT convenablement, elle requiert énormément d'efforts et de temps, aussi bien de la part de l'homme d'étude que du décideur.
- L'adoption d'une forme plutôt qu'une autre dépend essentiellement de l'indépendance des critères de la décision. Cette indépendance n'est pas facile à vérifier.
- L'élaboration de la fonction d'agrégation nécessite des informations très importantes du décideur: taux de substitution, intensité des préférences, poids des critères etc.

### **3.1.1.3 Méthodes de surclassement**

On ne peut pas justifier le choix des méthodes appliquées dans notre recherche, sans avoir présenté les méthodes Electre's qui représentent l'ossature de méthode de surclassement.

La notion de surclassement a été introduite par ROY [1985] afin de modéliser de façon relative les préférences des décideurs. Elle est adressée pour la comparaison de deux actions face à un critère donné ce qui la rend en général plus riche que la relation de dominance. Elle ne permet pas, en général, d'obtenir immédiatement un meilleur compromis ou un rangement des solutions.

Cette famille a surtout été marquée par l'apport considérable de ROY et des ses collaborateurs avec les méthodes ELECTRE [MAYSTRE, 1994]. Plusieurs méthodes ont vu leur apparition par la suite, les principales d'entre elles sont: Oreste, Prométhée [SCHARLIG, 1985].

ROY [1985] affirme que dans la prise de décision multicritère, le problème se ramène nécessairement soit à l'une des quatre problématiques suivantes:

**Tableau 3.2 . Problématique de référence dans la prise de décision multicritère**

Problématique	Objectif	Résultat	Procédure
ALPHA ( $\alpha$ )	Choix d'un sous-ensemble contenant les actions "les meilleures" ou, à défaut "satisfaisant"	Choix	Sélections
BETA ( $\beta$ )	Tri par affectation des actions à des catégories prédéfinis	Tri	Affectation
GAMMA ( $\gamma$ )	Rangement de classes d'équivalence, composées d'actions, ces classes étant ordonnées de façon complète ou partielle	Rangement	Classement
DELTA( $\delta$ )	Description dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Description	Cognition

Source: ROY [1985]

### **a Méthode ELECTRE I**

ELECTRE I (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité) fait partie du problématique Alpha (de choix). La méthode ELECTRE I utilise le concept de surclassement. C'est pourquoi elle construit une relation de surclassement qui servira à comparer les actions entre elles.

Elle vise à sélectionner un sous-ensemble N d'actions, aussi restreint que possible. Cette méthode consiste en fait à établir une dichotomie dans l'ensemble des actions potentielles en définissant un sous-ensemble d'action N, appelé noyau, tel que:

- toute action du noyau ne se surclassent par entre elles
- toute action hors du noyau est surclassée par au moins une action de N.

L'objectif visé par ELECTRE I est donc de déterminer le noyau qui contiendrait presque sûrement le meilleur compromis du point de vue des préférences du décideur. Il s'agira alors de rendre aussi petit que possible ce sous ensemble d'action N afin de pouvoir le soumettre à l'appréciation du décideur.

Le déroulement de la méthode se fait en quatre étapes suivantes:

1. Définir les critères de jugement des actions (les critères sont vrais-critères)
2. Attribuer à chaque critère  $g_j$  un poids  $p_j$  d'autant plus grand que le critère est important
3. Calculer pour chaque couple d'action (a,b) l'indice de concordance suivant:

$$C(a,b) = \frac{1}{P} \sum_{j: g_j(a) \geq g_j(b)} p_j \quad \text{où } P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (3.10)$$

où:

$$0 \leq C(a,b) \leq 1$$

Cet indice  $C(a,b)$  mesure les arguments en faveur de l'affirmation "a surclasse b".

$g_j(a)$  représente l'évaluation de l'action "a" suivant le critère j. L'indice de concordance est donc donné par la somme des poids des critères pour lesquels l'action "a" est au moins égale à l'action "b" sur l'ensemble des critères.

De plus,  $C(a,b)$  est égale à 1 si et seulement si "a" domine "b" pour le préordre produit, et de même  $C(a,b)$  est égale à zéro si et seulement si b domine a pour le préordre produit.

4. Calculer pour chaque couple d'action (a,b) l'indice de discordance suivant:

$$D(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(a) \geq g_j(b), \quad \forall j \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)], & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\delta = \max_{c,d} [g_j(c) - g_j(d)]$$

$$0 \leq C(a,b) \leq 1$$

La condition de discordance  $D(a,b)$  permet de refuser une hypothèse de surclassement de type aSb obtenue par la concordance lorsqu'il existe une opposition trop forte sur un ou plusieurs critères. Autrement dit,  $D(a,b)$  représente le maximum de la différence d'utilité entre "a" et "b" pour les critères où "b" domine "a". Cette différence est divisée par la différence maximale possible intra-critère pour toutes les solutions alternatives et tous les critères.

$\delta$  désigne l'écart le plus élevé possible entre les résultats quelconques sur un critère particulier. On définit ensuite deux nombres  $c^*$  et  $d^*$ , compris entre 0 et 1, tel que le premier soit suffisamment proche de 1 et le second proche de 0.

- Fixer les seuils de concordance  $c^*$  (plutôt proche de 1) et de discordance  $d^*$  (plutôt proche de 0).
- Tester la concordance et non la discordance de la proposition "a surclasse b".

Pour que l'hypothèse étudiée soit acceptée, il faut que l'indicateur de concordance soit supérieur ou égal à  $c^*$  et que l'indicateur de discordance soit inférieur ou égal à  $d^*$ . Ces seuils sont fixés par le décideur en fonction du risque qu'il accepte de prendre en acceptant l'hypothèse. On définit et teste la relation de surclassement S de la manière suivant

$$a S b \text{ si } C(a,b) \geq c^* \quad (3.12)$$

$$D(a, b) \leq d^* \quad (3.13)$$

### **b Méthode ELECTRE II**

Les éléments nouveaux de cette méthode par rapport à méthode ELECTRE I sont :

- L'indice de discordance ne change pas dans sa définition, mais on le calcule pour chaque critère discordant
- Plusieurs seuils de concordance et de discordance sont utilisés simultanément et non un seul comme au cours de chaque itération d'ELECTRE I. Selon les seuils que les indicateurs  $C(aSb)$  et  $D(aSb)$ , la relation de surclassement sera qualifiée de forte ou faible

### **c Méthode ELECTRE III**

Cette méthode ne se limite pas seulement à la recherche de deux espèces de surclassement les forts et les faibles, mais elle considère toute une famille, qui va de totalement fort (note 1) jusqu'au totalement faible c'est-à-dire inexistant (note 0) en passant par toutes les nuances que permet l'échelle continue entre ces deux extrêmes.

Son originalité par rapport à méthode ELECTRE I et II se résume en l'introduction des notions:

- de préférence faible Q:  
 $aQb \text{ si } q < a-b < p \text{ ou } -p < b-a < -q$
- de seuil d'indifférence q :  $a I b \text{ si } |a-b| < Q$
- de degré de crédibilité (veto)
- de distillation successive ascendante et descendante



#### **d Méthode ELECTRE IV**

ELECTRE IV se caractérise par les éléments suivants;

- Elle ne fait pas intervenir les poids des critères
- Elle se sert plutôt de seuils de classement "flous"
- Elle marque une nette simplification par rapport à méthode ELECTRE III.

On se contente, dans méthode ELECTRE IV, d'imposer qu'aucun critère ne soit prépondérante face à un regroupement d'une moitié quelconque des critères et qu'aucun ne soit négligeable face à un même regroupement.

La recherche des deux classements antagonistes se fera par distillation comme dans ELECTRE III. Malgré leur popularité, surtout en Europe ("l'approche multicritères école Française"), néanmoins nous pouvons noter certains nombres d'inconvénients sur les méthodes ELECTRE. BRANS et VINCKE [1985] relèvent les inconvénients suivants:

- Le problème se situe au niveau de la modélisation des préférences:

Ce problème concerne particulièrement les méthodes ELECTRE I et II qui supposent que la relation d'indifférence est transitive, ce qui est totalement irréaliste. Ceci conduit à l'apparition de concepts de seuil d'indifférence et de quasi-critère dans le seul espoir de remédier à cet inconvénient.

Selon BRANS et VINCKE[1985] le concept de quasi-critère reste insuffisant pour appréhender les préférences des individus de façon réaliste. Ils évoquent en particulier le caractère arbitraire contenu dans la fixation du seuil  $c$  et le saut brusque de l'indifférence à la préférence stricte.

- Le problème se situe au niveau de la construction de la relation de surclassement:

On trouve dans ELECTRE I, le surclassement d'une action par une autre dépend essentiellement des valeurs relativement arbitraires des poids attribués aux différents critères d'évaluation, et des seuils de concordance et de discordance. La décision finale est très sensible à ces valeurs.

Les méthodes ELECTRE III et IV introduisent un surclassement fort et un surclassement faible mais il faut bien reconnaître que ce dernier a un rôle tout à fait mineur.

La méthode ELECTRE III est certainement la plus élaborée puisqu'elle conduit à une relation de surclassement flou. Néanmoins, elle a pour principal inconvénient l'utilisation d'un grand nombre de paramètres ce qui rend complexe et non pratique son emploi.

- L'inconvénient lié à l'exploitation de la relation de surclassement:

La méthode ELECTRE I est conçue pour sélectionner une ou plusieurs actions d'un ensemble  $n$ , sur la base d'une famille de critères. Ceci n'est réalisable que si on obtient un noyau unique, condition qui n'est pas évidente. Elle passe donc par une étape intermédiaire consistant à réduire le graphe de surclassement (remplacement des circuits par des sommes) de manière à assurer l'existence et l'unicité du noyau. Cette opération détruit malheureusement une bonne part de l'information initiale et ne conduit à une solution satisfaisante que dans des cas particuliers.

### **3.2 METHODE DE LA PROCEDURE D'ANALYSE HIERARCHIQUE (AHP)**

La prise en compte des jugements qualitatifs dans les modèles d'aide à la décision des multicritères reçoit de plus en plus d'attention. L'une des méthodes qui a reçu une attention particulière dans la littérature est la méthode de la Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP) [FORMAN et PENIWATI, 1998].

La méthode AHP est une méthode multicritères analytique mise au point par SAATY [SAATY, 1980, Saaty-1994-a]. MAYSTRE et.al.[1994] la classent comme l'approche multicritères de "l'école américaine".

#### **3.2.1 PRINCIPALES DE LA METHODE AHP**

La méthode AHP consiste à construire une hiérarchie dans laquelle chaque niveau est une décomposition du précédent, puis à calculer la contribution des éléments d'un niveau aux éléments des niveaux supérieurs [SAATY, 1980, 1984, 1994-a].

Son développement est basé des jugements purement quantitatifs et jugements subjectifs qui permet tant de comparer un élément de décision à un autre élément sur un critère qualitatif ou critère quantitatif donné.

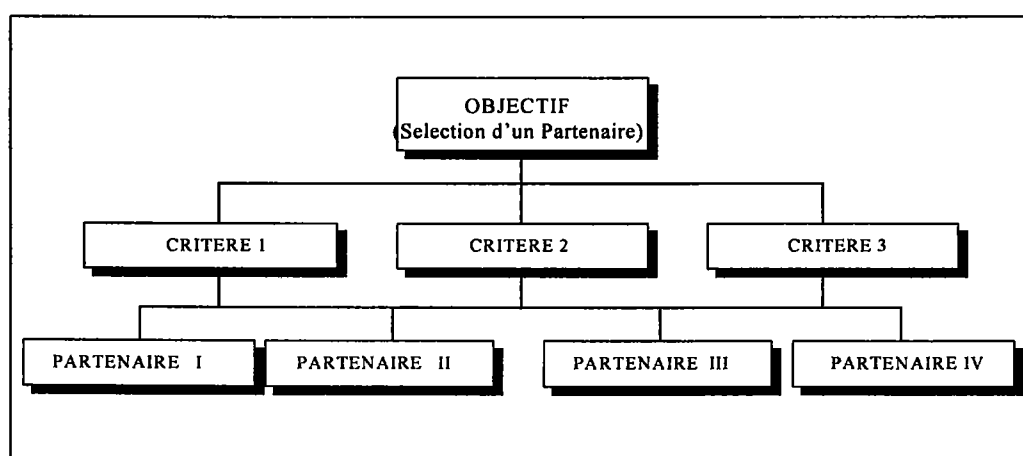
La méthode de mesure est basée sur la décomposition par paire (comparaison binaire) : On demande simplement au décideurs d'évaluer l'importance ou la priorité

relative d'un élément de la hiérarchie par rapport à un autre élément appartenant au même niveau de la décomposition et on compare les importances relatives de tous éléments pris deux à deux.

Cette importance ou priorité relative d'un élément par rapport à un autre est mesurée sur une échelle qui permet de quantifier le degré d'importance de dominance d'un élément par rapport à un autre.

Un exemple illustre mieux que toute autre explication ce que permet d'obtenir la méthode.

Soit une de projet de sélection d'un partenaire dont l'objectif général est d'opérer le meilleur choix, pouvant distinguer des critères de choix spécifiques plus ou moins exclusifs les uns des autres sur lesquelles seront jugés les différents solutions possibles (le critère 1 technique, critère 2 commercial, critère 3 financier) . Chacun de critère sera ensuite décomposé en sous-critère simples. On peut construire la hiérarchie présente en Figure 3.1 suivante négligeant les sous-critères



**Figure 3.2** Décomposition hiérarchique pour choix d'un partenaire (exemple.)

Chacun des décideurs évalue l'importance relative des critères de sélection d'un partenaire, puis évalue chacun des quatre partenaires envisagés sur tous les critères de la décomposition hiérarchique.

La méthode AHP, va nous permettre de connaître, entre autres choses: (i) la contribution des partenaires à la sélection du meilleur choix et à chacun des trois critères

objectifs spécifiques; (ii) la contribution des critères spécifique financier à l'objectif général :

A partir de ces informations, on voit qu'il est facile d'ordonner les critères et les partenaires, par leur contribution à l'objectif général et choisir le meilleur partenaire.

Présentons maintenant le principe mathématique de la méthode AHP, à partir de l'exemple sur lequel nous sommes partis. L'obtention des résultats nécessite que soient remplies les matrices figurant en schéma suivant.

Objectif	C-1	C-2	C-3
C-1			
C-2			
C-3			

C-1	P-1	P-2	P-3	P-4
P-1				
P-2				
P-3				
P-4				

C-2	P-1	P-2	P-3	P-4
P-1				
P-2				
P-3				
P-4				

C-3	P-1	P-2	P-3	P-4
P-1				
P-2				
P-3				
P-4				

**La figure 3.2** Tableaux nécessaires au calcul des contributions selon méthode de l'AHP

Avec:

- C-1 : critères techniques
- C-2 : critères commerciaux
- C-3 : critères financiers
- P-1 : partenaire candidat I
- P-2 : partenaire candidat II
- P-3 : partenaire candidat III
- P-4 : partenaire candidat IV

Pour élément de décision se trouvant dans le cadre du sommet à gauche, il faut déterminer pour chaque couple des éléments si l'un contribue plus ou moins à la réalisation du projet que l'autre élément

Pour reprendre le premier tableau, les responsables ou décideurs doivent essayer de se mettre d'accord sur les questions suivantes:

- les critères techniques contribue-t-elle plus, moins ou de manière égale aux critères commerciaux, à l'objectif de sélection du meilleur partenaire ?
- les critères techniques contribuent-ils plus ou moins ou de manière égale aux critères financiers à l'objectif de sélection du meilleur partenaire ?

- et ainsi de suite pour tous les couples.

On ne fait cependant remplir que la moitié de la matrice puisque, lorsque pour une variable la priorité de l'élément  $i$  sur l'élément  $j$  est connue, il suffit de prendre la valeur inverse pour obtenir la priorité de  $j$  sur  $i$ , c'est-à-dire:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3.14)$$

Ou  $a_{ij}$  est la priorité de l'élément  $i$  sur l'élément  $j$  pour la variable considérée. SAATY (1994, 1980) a utilisé l'échelle de comparaison qui est une échelle à 9 points. Cette échelle permet de graduer le jugement relatif dans la perception des décideurs et respecte également les capacités de jugement et de discernement de l'esprit humain au-delà duquel l'esprit humain a de grandes difficultés à traiter l'information [MERUNKA, 1987; SAATY, 1984; SAATY, 1994].

L'échelle correspondance entre l'échelle numérique et l'échelle verbale, d'après SAATY (1984), est définie dans le tableau suivant:

**Tableau 3.3** Echelle des valeurs utilisées par Saaty

Echelle Numérique ou Intensité	Echelle Verbale ou Définition	Commentaires
1.0	Importance <i>égale</i> des deux éléments	Les deux, éléments concurrents de la même manière à l'objectif
3.0	Un élément est un <i>peu plus</i> important que l'autre	L'expérience et le jugement favorisent légèrement un élément par rapport à l'autre.
5.0	Un élément est <i>plus</i> important que l'autre	L'expérience et le jugement favorisent vraiment un élément par rapport à l'autre
7.0	Un élément est <i>beaucoup plus</i> important que l'autre	Un élément est largement dominant et cette dominance est démontrée dans la pratique
9.0	Un élément est absolument plus important que l'autre	La dominance d'un élément par rapport à un autre est démontrée et absolue
2.0, 4.0, 6.0, 8.0	Valeurs intermédiaires entre deux jugements	Utilisées pour affiner son jugement

Sources: SAATY [1984].



### 3.2.2 EXAMEN THEORIQUE DE LA METHODE AHP

Une fois que toutes les matrices ont été complétées, il faut calculer les contributions. Pour chaque niveau de la hiérarchie, la procédure est la même.

Après que le décideur avait effectué ses évaluations et que nous ayons collecté les scores correspondant, Nous partons sur la matrice des contributions sur les données :

$$\begin{array}{c|ccc} & \text{C-1} & \text{C-2} & \text{C-3} \\ \hline \text{C-1} & 1 & a_{12} & \\ \text{C-2} & a_{21} & 1 & a_{13} \\ \text{C-3} & & a_{31} & 1 \end{array} = [A] \quad (3.15)$$

On cherche à calculer pour chaque critère spécifique de la sélection partenaire une contribution donnant à chacun d'eux la mesure de son importance relative  $n(n-1)/2$  (comparaison par paires), nous recherchons le vecteur de la forme  $\bar{w} = (w_1, w_2, w_3)$  avec:

- $w_1$  : contribution des critères techniques à la sélection d'un partenaire (le poids d'importance relative attaché à élément-1 des critères techniques)
- $w_2$  : contribution des critères commerciaux à la sélection d'un partenaire (le poids de l'importance relative attaché à élément-2 des critères commerciaux)
- $w_3$  : contribution de financier à la sélection d'un partenaire (le poids de l'importance relative attaché à élément 1 des critères financiers)

La détermination de  $\bar{w}$  nécessite la résolution de l'équation suivante:

$$[A] \cdot \bar{w} = \lambda_{\max} \cdot \bar{w} \quad (3.16)$$

$\lambda$  est une valeur scalaire appelée valeur propre et  $\bar{w}$  un vecteur propre. Cette équation comporte autant de valeurs propres solutions qu'il existe de rangée ou de colonnes de la matrice  $[A]$ . Chaque valeur propre est associée à un vecteur propre solutions décrivant un sous espace vectoriel particulier.

La matrice de comparaison correspondante, compte tenu de l'hypothèse de symétrie et de transitivité des jugements par paire, s'écrit :

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} \\ \frac{w_2}{w_1} & 1 & \frac{w_2}{w_3} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & 1 \end{bmatrix} = [A] \quad (3.17)$$

car ,

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$$

$$a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{a_{ij}}, \text{ hypothèse de symétrie}$$

$$a_{il} = \frac{w_i}{w_j} \times \frac{w_j}{w_l} = \frac{w_i}{w_l}, \text{ mais aussi}$$

$$a_{il} = \frac{w_i}{w_k} \times \frac{w_k}{w_l} = \frac{w_i}{w_l}, \text{ hypothèse de transitivité.}$$

Ces deux hypothèses théoriques sont particulièrement importantes dans la mesure où elles vont faciliter la résolution de l'équation (3.16). En multipliant la matrice  $[A]$  par le vecteur  $\vec{w}$ , on obtient :

$$\begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = 3 \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Dans le cas où on se trouve en présence d'une matrice  $[A]$  symétrique de dimension  $n$ , alors la solution de l'équation sera:

$$[A] \cdot \vec{w} = n \cdot \vec{w} \quad (3.19)$$

Cela signifie que sous les hypothèses de symétrie et de transitivité, la résolution de l'équation (3.16) ne comporte qu'une seule valeur propre solution correspondant à la trace, ou dimensions, de la matrice  $[A]$ . Il s'agit d'un théorème. La matrice  $[A]$  ayant un rang unitaire, toutes ses valeurs propres  $\lambda_i$  sont nulles, à l'exception de l'une d'entre elles sachant que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{trace}[A] = n \quad (3.20)$$

$n$  est valeur propre maximale, dans l'exemple que nous avons pris, 3 est la valeur propre solution de l'équation (3.16).

### 3.2.3 EXAMEN PRATIQUE

L'hypothèse de transitivité est trop contraignante dans la réalité. En effet, les jugements donnés par les décideurs sont rarement parfaits du point de vue purement mathématique comme dans la matrice  $[A]$  i.e. le remplissage de la matrice est loin d'être parfaitement cohérent. C'est pourquoi, cette matrice ne respecte jamais la condition théorique de transitivité.

Néanmoins, on cherche à déterminer les composantes d'un vecteur  $\bar{w}$  unique. Pour cela on va calculer l'ensemble des valeurs propres solution de l'équation (3.16) mais n'en conserver qu'une seule pour laquelle le vecteur  $w$  sera déterminé.

La méthode de sélection consiste à retenir la valeur propre maximale parmi toutes les solutions de l'équation (3.16). On choisit cette valeur de préférence aux autres, plus petites, dans la mesure où elle est susceptible d'être la plus proche de la valeur propre théorique  $n$ . Cette caractéristique permettra par la suite de réaliser un test cohérence.

Pour cette valeur propre maximale, il est alors possible de calculer le vecteur propre  $\bar{w}$  qui lui est associé.

Le calcul des valeurs propres part toujours de l'équation de base (3.16), cette équation devient:

$$[A].[\bar{w} - \lambda]\bar{w} = \bar{O} \quad (3.21)$$

Où  $\bar{O} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$  de dimension  $[3,1]$  dans notre exemple. L'équation (3.21) devient, en

plaçant  $\bar{w}$  en facteur commun,

$$[[A] - \lambda.[I]].\bar{w} = \bar{O} \quad (3.22)$$

où  $[I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  est une matrice unité, ici de dimension dans notre exemple  $[3,3]$ .

L'équation (3.22) n'admet de solution que si :

$$\text{Déterminant} \quad [[A] - \lambda \cdot [I]] = \bar{0} \quad (3.23)$$

ce qui permet de calculer les  $n$  valeurs propres solutions. On conserve seulement celle ayant la valeur maximale, que nous appellerons  $[\lambda_{\max}]$ .

Le vecteur propre associé à  $[\lambda_{\max}]$  est obtenu par l'équation (3.22) c'est-à-dire:

$$[[A] - [\lambda_{\max}] \cdot [I]] \cdot \bar{w} = \bar{0} \quad (3.24)$$

C'est un système à  $n$  équations et  $n$  inconnues admettant par conséquent une solution unique. Le vecteur  $w$  solution est alors la contribution des  $n$  éléments du niveau variable du niveau supérieur. Il s'agit dans le cas de notre exemple de la contribution des critères de techniques, commerciaux et financiers à la sélection du partenaire.

### 3.2.4 TEST DE COHERENCE SUR LA MATRICE $[A]$

On pourrait chercher à vérifier par le seul examen de la matrice  $[A]$  si la règle de transitivité des jugements est respectée par le décideur ayant rempli ce tableau.

Mais cette procédure risque d'être longue et les conclusions hasardeuses. Or par la comparaison entre la valeur propre maximale obtenue et la valeur propre théorique, égale  $n$ , on dispose d'un bon moyen d'évaluer la qualité de la logique des jugements recueillis.

Soit  $n$ , la valeur propre théorique devant être obtenue avec un système de jugements parfaitement logique c'est-à-dire remplissant la condition de transitivité, alors  $a_{ij} = w_i / w_j$  (pour  $\forall i, j$ ).

En pratique, cependant, les réponses présentent souvent un certain degré d'incohérence. AHP n'exige pas que les jugements soient cohérents ni transitifs. SAATY [1984] a défini un indice de cohérence (IC) :

:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)} \quad (3.25)$$

Plus l'indice de cohérence (IC) devient grand et plus les jugements des utilisateurs sont incohérence et vice versa. IC est ensuite à des valeurs critiques obtenues par simulation.

Quand il n'y a pas de cohérence parfaite, si on ne perturbe pas trop les  $a_{ij}$ , on a tout de même, pour des raisons de continuité de la valeur propre:

$$[A] \cdot \bar{w} = \lambda_{\max} \cdot \bar{w} \quad (3.26)$$

Autrement dit,  $\bar{w}$  reste tout de même le vecteur propre associé à la valeur propre maximale. Il a été montré  $\lambda_{\max} \geq n$ .

Saaty a défini ensuite un ratio de cohérence comme le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements du décideur et de l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension. Cet indice aléatoire est obtenu en simulant un grand nombre de matrice comparaison réciproques, remplies de façon aléatoire avec des chiffres en pris entre 1/9 et 9 [SAATY, 1980].

Le ratio de cohérence est donné par la formule :

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (3.27)$$

où:

RC : le ratio de cohérence

IA : un indice aléatoire

IC : l'indice de cohérence

Le degré d'incohérence résulte du terme d'erreur comme suit:

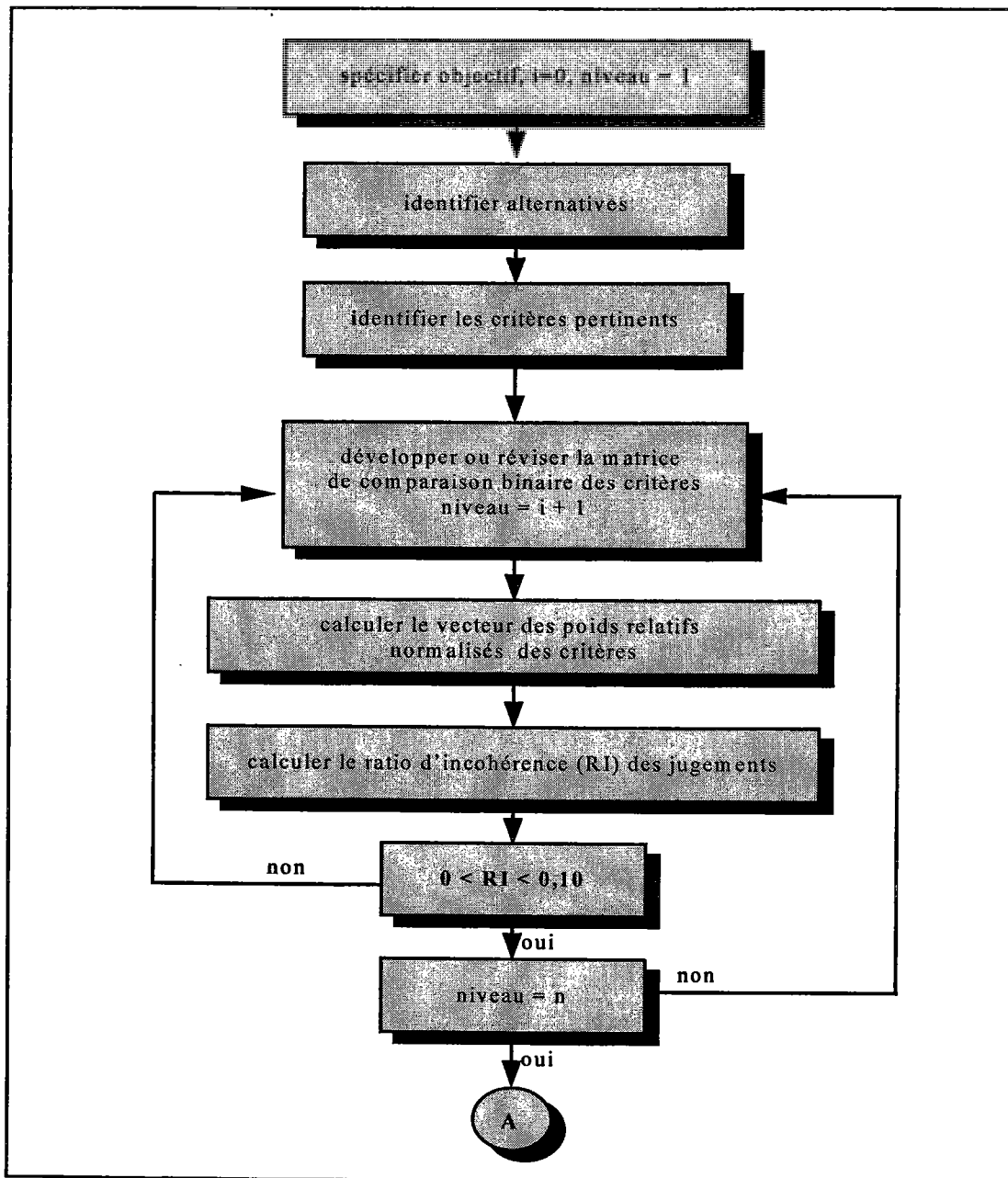
$$\varepsilon_{ij} = a_{ij} - w_i / w_j \quad (3.28)$$

En d'autres termes,  $\varepsilon_{ij}$  représente l'incohérence du décideur dans les comparaisons de l'élément  $i$  à l'élément  $j$ . Le ratio de cohérence (RC) peut être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement.

La cohérence globale d'appréciation est évaluée au moyen de ce ratio de cohérence (RC). SAATY [1984] recommande de vérifier que le ratio d'incohérence (RI) doit être plus égal à 10 %. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions.

Un logiciel "Expert Choice" qui fonctionne sur micro ordinateur de manière interactive, rend opérationnelle facile l'utilisation de la méthode AHP, et même procéder à des analyses de sensibilité. La figure 3.4 montre le diagramme des étapes de la méthode AHP.





Source: [SAATY, 1984]

**Figure 3.4** Diagramme de la méthodologie AHP (suite)

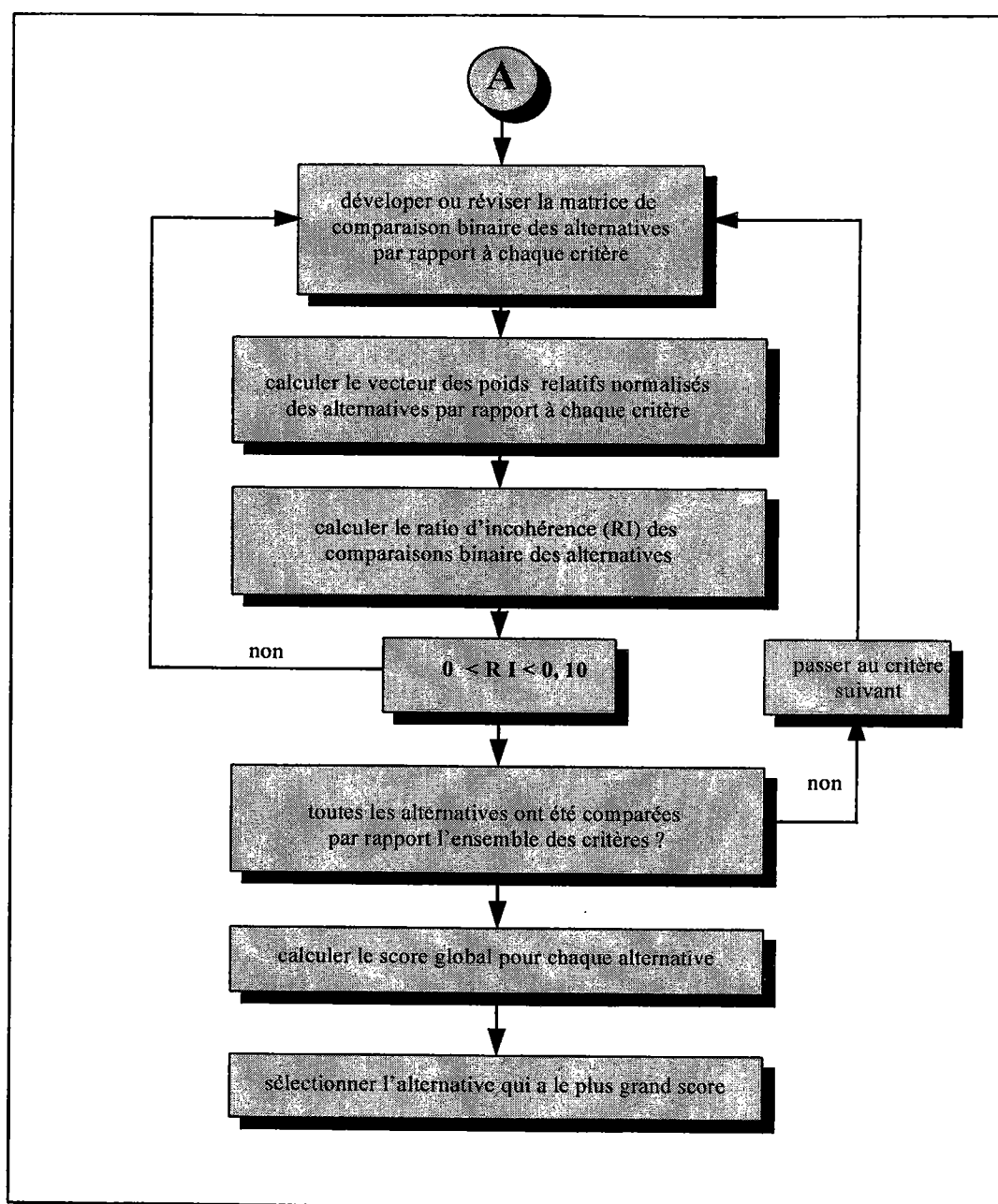


Figure 3.5 Diagramme de la méthodologie AHP [suite]

### 3.2.4 DISCUSSION CRITIQUE DE LA METHODE AHP

Depuis son introduction, la méthode AHP a beaucoup été controversée [DYER 1990]. Les critiques ont porté essentiellement sur quatre aspects (HARKER et VARGAS, 1987):

- manque d'un fondement axiomatique
- ambiguïté des questions auxquelles le décideur doit répondre
- le principe de composition hiérarchique
- en enfin l'inversion des rangs du classement

L'échelle numérique 1-9 a été pointé du doigt par certains auteurs [DYER[1990], HOLDER, 1990] Selon HOLDER, on devrait laisser à l'utilisateur la liberté de choisir sa propre échelle. Il a également soulevé le problème de la cohérence de la matrice des jugements;

Si l'on considère la propriété mathématique définissant cette cohérence:  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ . La cohérence parfaite ne pourra jamais se réaliser quelle que soit la bonne volonté du décideur. On illustre son idée par l'exemple suivant: si A est légèrement plus important que B (ce qui correspond à 3) et B est à son tour légèrement plus important que c, alors, selon la priorité utilisée, A est absolument plus important que C (9) ce qui n'est pas réaliste. Cette échelle linéaire est incomparable.

Mais l'aspect le plus controversé est celui relatif au phénomène de l'inversion des rangs du classement. En effet, le classement d'alternative obtenu par AHP peut être modifié par l'addition d'une nouvelle alternative ou le retrait d'une alternative déjà existante. Cette caractéristique de la méthodologie a été discutée dans plusieurs articles (SAATY et.al [1994], DYER [1990], HOLDER [1990]).

Cette modification du classement n'est selon DYER (1990), " qu'un symptôme d'un problème plus profond: celui relatif à l'aspect arbitraire des classements obtenus par la méthodologie".

ROPERT et.al (1990) reprochent à la méthode AHP de ne pas fournir de test statistique pour identifier la signification des résultats, et estiment que la procédure produit des marques qui ne peuvent pas être interprétées avec précision. Cette procédure ne nous permet pas d'obtenir une solution unique.

Si l'on considère à la quantité d'articles publiés sur cette méthode et à ses applications, il y a de quoi penser que le message ne semble pas être pris au sérieux par les utilisateurs de AHP.

HARKER et al. [1987] ont donné quelques éléments de réponse à la plus part de ces critiques. SAATY et VARGAS [1984] puis SAATY [1990] soutiennent que l'inversion des rangs est un phénomène légitime lorsqu'on travaille avec des poids relatifs. Selon SAATY [1990] dans le cadre des mesures relatives, la préférence pour une alternative faisant partie d'un niveau de la hiérarchie est déterminée par toutes les autres alternatives appartenant à ce niveau. Par conséquent en déterminant les priorités relatives d'un ensemble d'alternative, on ne considère pas l'alternative comme des entités isolées et indépendantes.

HARKER et VARGAS [1987, 1990] ont également réagi à cette critique, soutenant que le renversement des rangs est attribué à l'utilisation abusive de fondement théorique supportant AHP, plutôt qu'aux défauts dans la théorie. Selon ces mêmes auteurs, l'exemple fourni par Dyer ne respecte pas l'hypothèse de l'Indépendance entre les niveaux respectifs de la hiérarchie.

L'établissement des axiomes de AHP par SAATY [1986] a énormément facilité la tâche aux défenseurs de cette méthode. Ces axiomes peuvent être résumés comme suit [VARGAS, 1990]:

- Condition de réciprocité: Si A est  $n$  fois préféré à B, alors B sera  $n$  fois moins préféré que A soit  $1/n$ ;
- Homogénéité: Les comparaisons n'ont de sens que si les éléments sont comparables
- Indépendance: Dans l'évaluation des préférences, les critères sont supposés indépendants des propriétés des alternatives.
- Anticipation :Tout changement au niveau de la structure de la hiérarchie nécessite nouvelle évaluation des préférences de la nouvelle hiérarchie.

Enfin la dernière faiblesse de la méthode AHP est celle relative à l'agrégation composée des poids des différents critères (étape finale). La procédure utilisée n'est rien d'autre que la somme pondérée qui est basée, comme nous l'avons souligné précédemment, sur l'hypothèse de l'Indépendance. En effet, selon BELTON [1986], bien qu'elle ne soit pas généralement présentée comme telle par les adeptes de la méthode AHP dans nombreuses

applications, la structure de préférence des décideurs est une simple fonction additive de valeur pondère.

Dans l'AHP, on effectue une somme pondérée, qui est de type compensatoire, pour agréger globalement les évaluations. Cette étape pourrait être remplacée par l'application d'une autre méthode multicritère. Cette idée a déjà été partiellement exploitée par certains chercheurs.

En effet, conscient des faiblesses et de points forts de méthodes du Goal Programming et méthode AHP, RAMMANATAHAN [1995] conclurent que la combinaison de celle-ci ne fera qu'enrichir le processus de décision. Il s'agit pour cela de se servir de la méthode AHP uniquement pour fixer le vecteur des priorités entre les critères (poids relatifs des différents critères par rapport à l'objectif cible). Ces poids seront utilisés à nouveau dans la fonction objectifs du modèle Goal Programming. Cette fonction objective étant définie en terme d'écart entre les finalistes et les réalisations.

#### **3.2.4.1 Applications de la méthode AHP dans le domaine de la gestion**

Durant les 15 années, la Procédure d'Analyse Hiérarchique a été appliquée aux problèmes de décision dans une large variété d'applications [FORMAN et PENIWATI 1998; VARGAS, 1990].

Malgré les critiques de fond qui ont été faites à certains aspects de la méthode, quelques faiblesses relevées par certains auteurs [ZAHEDI 1986, ROPER et al., 1990] il n'en demeure pas moins que AHP a été appliqué dans plusieurs domaines soit le domaine économique, soit la technologie et les gestionnaires, soit dans le domaine politique et sociale [SAATY, 1994-b, VARGAS, 1990].

KLEINDOFER et PARTOVI [1990] ont suggéré de la méthode AHP pour choisir une technologie alors que CAMBRON [1991] s'en sert pour choisir le meilleur aménagement possible au niveau d'une usine.

FRAZELLZ [1985] pour sa part, propose deux méthodes multicritère (technique de pondération et méthode AHP) pour choisir un système de manutention sur la base de cinq critères globaux retenus: Chacune des deux méthodes a été utilisée pour sélectionner un système de manutention qui satisfait le mieux aux cinq critères simultanément;

Ces deux méthodes d'évaluation ont été jugées très satisfaisantes, en particulier AHP qui prend en considération les incohérences dans le jugement à tous les niveaux de la hiérarchie.



CIPTOMULYONO (1998) quant à lui, suggère d'utiliser d'abord l'enquête DELPHI pour identifier les objectifs d'une politique du secteur énergie et les niveaux d'aspirations des répondants consultés, d'appliquer ensuite la méthode AHP pour dégager les priorités. Cette méthode s'est avérée fort intéressante mais demande énormément de temps pour mener à terme l'étude.

Par le nombre des diverses applications qu'elle a enregistrées, la méthode AHP est considérée comme l'une des méthodes multicritères compensatoire les plus connues. Le succès remarquable réalisé par cette approche est dû au fait qu'elle prend en considération aussi bien les aspects quantitatifs que qualitatifs des critères tout en assurant de certaines cohérences dans les jugements. Elle représente une façon pratique de traiter quantitativement les aspects qualitatifs de critères de décision.

La littérature montre que, malgré ces défauts, la méthode AHP a été largement appliquée avec succès dans la pratique de prise de décision. Aussi, beaucoup des recherches qui étaient sceptiques sur l'utilisation de la Procédure d'Analyse Hiérarchique, ont maintenant accepté la technique comme une contribution significative dans les méthodes multicritères [DYER et al., 1992]. Cependant, les applications publiées dans la littérature française en gestion sont rares. La méthode a reçu jusqu'alors extrêmement peu d'attention [MERUNKA, 1987].

L'exactitude des résultats de l'AHP a été établie en les comparant avec les autres méthodes ou outils multicritères. Ainsi, il a été montré que cela pouvait conduire à des méthodes similaires alternatives de classement [NARASIMHAN et VICKERY, 1998].

Sa popularité est due principalement à sa simplicité, flexibilité, appel intuitif ainsi qu'à sa capacité à mélanger les critères quantitatifs et qualitatifs dans le même cadre de décision [WEDLY, 1990].

### **3.3 METHODE DE PROGRAMMATION MATHÉMATIQUE A OBJECTIFS MULTIPLES**

La méthode multiobjectifs est un outil important d'aide à la décision. Elle concerne tous les problèmes où un grand nombre d'objectifs généralement antagonistes et conflictuels, doivent être atteints.

Nous proposons d'utiliser cette méthode multiobjectifs pour réagir à ce problème. Nous présenterons d'abord les concepts fondamentaux des méthodes multiobjectifs, puis nous esquisserons la méthode "Goal Programming".

### 3.3.1 SPECIFICATION DES METHODES MULTIOBJECTIFS

Dans les problèmes multiobjectifs pour la sélection des projets, le décideur veut atteindre plusieurs objectifs ou but ("goal") tout en satisfaisant les contraintes dictées par l'environnement, les ressources et par un processus de prise de décision qui est un processus de sélection parmi les divers projets possibles.

Sous une forme opérationnelle, on peut exprimer le problème d'optimisation multiobjectifs comme suit:

$$Max[f_1(x), \dots, f_k(x)] = f(x) \quad (3.29)$$

Sous les contraintes:

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (3.30)$$

$n$  : variable de décision

$m$  : contraintes

$x$  : vecteur variable de décision de dimension  $n$

Les objectifs  $f(x)$  n'étant pas concordants en général, il n'existe pas de solution qui respecte les contraintes tout en rendant maximum tous les objectifs à la fois, de fait, on tente de rechercher non pas l'optimum du problème mais le meilleur "compromis" possible sur l'ensemble des objectifs. CHANKONG et HAIMES [1983] ont choisi de formuler le problème d'optimisation multiobjectifs comme suit: "étant donné la description de l'environnement et du centre de décision, résoudre :

$$DR[f_1(x), \dots, f_k(x)] \quad (3.31)$$

ce qui doit être interprété: Appliquer la règle de décision DR pour choisir la meilleure action possible dans  $X$  selon les valeurs de  $f_1, \dots, f_k$ .

Au cours du processus de décision une articulation de l'information sur les préférences (une pondération en quelque sorte), peut être demandée aux décideurs. Si tel est le cas, alors l'étape à laquelle se fait la pondération joue un rôle clé dans la classification des méthodes multiobjectifs.

HWANG et MASUD [1983] classent les méthodes multiobjectifs en 4 grandes catégories correspondant aux possibilités des étapes de la pondération:

1. Les méthodes ne nécessitant pas de pondération

2. Les méthodes nécessitant une pondération "a priori" des objectifs, i.e. dont la pondération est demandée au décideur avant le déroulement des méthodes.
3. Les méthodes nécessitant une pondération "progressive des objectifs ou méthodes interactives: i.e. dont la pondération est précisée au fur et à saure du déroulement des méthodes.
4. Les méthodes conduisant à une pondération "a posteriori" des objectifs i.e. dont la pondération n'est pas demandée au décideur mais résultes des choix effectués.

### 3.3.2 GOAL PROGRAMMING GENERALISE

Le Goal Programming est une méthode multiobjective parmi plus que 20 méthodes disponibles (CHANKONG et HAIMES[1983]; MAYSTRE et.al.[1994]) dans la pratique pour prendre une de décision

Nous utilisation l'expression "Goal Programming Généralisé" au lieu de l'expression "Goal Programming" pour indiquer le caractère large de cette présentation qui est utilisé par IGNIZIO [1984].

Considérons le problème d'optimisation multiobjectifs général :

$$\text{Max ou Min } f(x) = [f_1(x), \dots, f_k(x)] \quad (3.32)$$

Sous les contraintes:

$$\begin{aligned} g_i(x) \begin{pmatrix} \geq \\ \leq \\ = \end{pmatrix} b_i & \quad i = 1, \dots, m \\ x_l \geq 0 & \quad l = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (3.33)$$

Le "Goal Programming Généralisé" contient toute méthode qui convertit tous les objectifs du modèle de base en buts flexibles

On définit  $\hat{f} = (\hat{f}_1, \dots, \hat{f}_k)$ , ou  $\hat{f}_j, j = 1, \dots, k$  représente le niveau d'aspiration c'est-à-dire défini comme étant le niveau de réalisation désiré ou acceptable, ou but à atteindre pour le décideur associé à la fonction objectif  $f_j(x)$ . L 'objectif  $\max f_j(x)$ . (resp.  $\min f_j(x)$ .) est alors converti en but flexible:

$$f_j(x) \geq \hat{f}_j \text{ (resp. } f_j(x) \leq \hat{f}_j) \quad (3.34)$$

Si on considère de nouvelle variable d'écart, notes  $p_j$  et  $n_j$  telles que:

$$\begin{aligned}
 p_j &= \frac{1}{2} \left[ |f_j(x) - \hat{f}_j| + |f_j(x) - \hat{f}_j| \right] \\
 n_j &= \frac{1}{2} \left[ |f_j(x) - \hat{f}_j| + |f_j(x) - \hat{f}_j| \right]
 \end{aligned}
 \tag{3.35}$$

On remarque que,  $p_j$  représente la déviation positive ou encore le sur-achèvement du  $j^{\text{ième}}$  objectif ou but flexible et  $n_j$  représente la déviation négative ou encore le sous-achèvement du  $j^{\text{ième}}$  objectif ou but flexible.

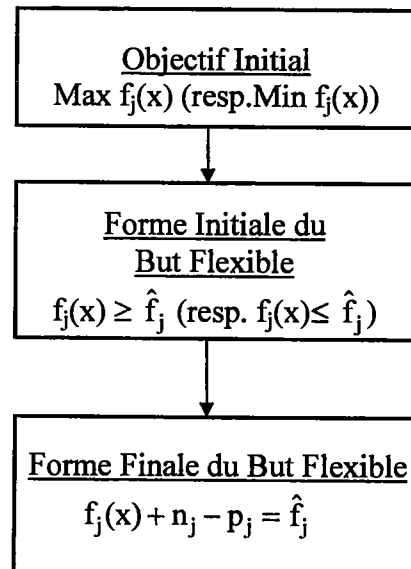
Par ailleurs:

1.  $p_j + n_j = |f_j(x) - \hat{f}_j|$
2.  $p_j - n_j = f_j(x) - \hat{f}_j$
3.  $p_j, n_j = 0$
4.  $p_j, n_j \geq 0$

La conséquence de (2) est que chaque but flexible  $f_j(x) \begin{pmatrix} \geq \\ \leq \\ = \end{pmatrix} \hat{f}_j$ , peut prendre la forme finale suivante:

$$f_j(x) + n_j - p_j = \hat{f}_j \quad j = 1, \dots, k \tag{3.36}$$

On a donc effectué les transformations suivantes:



**La figure 3.6** Etapes des transformations les objectifs dans Goal Programming

De même les contraintes rigides ou buts inflexibles (ou absolus) :

$$g_i(x) \begin{pmatrix} \geq \\ \leq \\ = \end{pmatrix} b_i$$

peuvent prendre la forme finale suivante (forme convertie du but inflexible):

$$g_j(x) + n_j - p_j = g_j \quad i = 1, \dots, m \quad (3.37)$$

A partir de là, nous pouvons distinguer essentiellement deux approches:

- Le Goal Programming "pondérée" (ou archimédien ou encore min. somme)
- Le Goal Programming "préemptif" (ou lexicographique)

### 3.3.2.1 Goal Programming pondéré

Cette approche consiste à se rapprocher le plus possible du niveau d'aspiration en minimisant l'écart entre  $f_j(x)$  et  $\hat{f}_j$ , soit à formuler le problème d'optimisation multiobjectifs de la manière suivante [ROMERO, 1992] :

$$\text{Min } d(f(x), \hat{f}) \quad (3.38)$$

Sous les contraintes:

$$g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$x_l \geq 0 \quad l = 1, \dots, n$$

$n$  : variable de décision

$m$  : contraintes

$x$  : vecteur variable de décision de dimension  $n$

$d$  : une distance entre  $f(x)$  et  $\hat{f}_j$  choisie par le décideur.

On a :  $d(f(x), \hat{f}) = D(\bar{n}, \bar{p})$

$\bar{n}$  : est le vecteur des déviations négatives  $n_j = (n_1, n_2, \dots, n_k)$

$\bar{p}$  : est le vecteur des déviations positives  $p_j = (p_1, p_2, \dots, p_k)$

$D$  : est la déviation totale entre  $f_j(x)$  et  $\hat{f}_j$  et est une distance

Nous pouvons donc remplacer la formulation (3.38) par:



$$\text{Min } D(\bar{p}, \bar{n}) \quad (3.39)$$

Sous les contraintes:

$$g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i \quad i = 1, \dots, m$$

(but inflexibles non converties)

$$f_j(x) + n_j - p_j = \hat{f}_j \quad j = 1, \dots, k$$

(but flexibles qui sont des objectif à l'origine)

$$n_j, p_j \quad j = 1, \dots, k$$

$$x_l \geq 0 \quad l = 1, \dots, n$$

La solution optimale de (3.38) et (3.39) qui minimise la déviation totale entre  $f(x)$  et  $\hat{f}$  sera la meilleure solution compromis du problème d'optimisation multiobjectif.

Les distances qui mesurent la déviation totale ne sont pas uniques. En général, on utilise une distance pondérée suivante :

$$d_p(f(x), \hat{f}) = \left[ \sum_{j=1}^k w_j |f_j(x) - \hat{f}_j|^p \right]^{1/p} \quad 1 \leq p \leq \infty \quad (3.40)$$

soit

$$D_p(\bar{n}, \bar{p}) = \left[ \sum_{j=1}^k w_j (n_j + p_j)^p \right]^{1/p} \quad 1 \leq p \leq \infty \quad (3.41)$$

$w_j$  : représente le poids associé au  $j^{\text{ième}}$  objectif d'où l'aspect cardinal de l'information à donner par le décideur dans cette méthode.

Si  $p = 1$ ,

$$d_1(f(x), \hat{f}) = \sum_{j=1}^k w_j |f_j(x) - \hat{f}_j| \quad (3.42)$$

soit

$$D_1(\bar{n}, \bar{p}) = \sum_{j=1}^k w_j (n_j + p_j) \quad (3.43)$$

Si de plus  $w_1 + \dots + w_k = 1$ ,

$$d_1(f(x), \hat{f}) = \sum_{j=1}^k |f_j(x) - \hat{f}_j| \quad (3.44)$$

soit

$$D_1(\bar{n}, \bar{p}) = \sum_{j=1}^k (n_j + p_j) \quad (3.45)$$

Suivant la situation, le décideur peut préférer le sur-achèvement plutôt que le sous-achèvement d'un objectif ou inversement. Pour se conformer à ses préférences, le décideur pourra attribuer des poids relatifs  $w_j^+$ ,  $w_j^-$  aux déviations positives et négatives  $p_j$ ,  $n_j$  de chaque objectif  $f_j(x)$ , soit:

$$D(\bar{n}, \bar{p}) = \sum_{j=1}^k (w_j^- n_j + w_j^+ p_j) \quad (3.46)$$

Une fois la distance choisie i.e. les poids  $w_j$ ,  $j = 1, \dots, k$  et la puissance  $p$  choisis, le problème (3.39) se ramène à un problème de programmation simple (à objectif unique) à traiter par les méthodes appropriées de programmation simple [ROMERO, 1992, IGNIZIO, 1984 SCHNIEDERJANS, 1995, TAMIZ et.al. 1998]. Cependant, ce modèle pose un certain nombre de problèmes :

- La sélection des poids  $w_j$  valables. En effet ces poids résultent d'une estimation subjective de la part du décideur et ne sont pas nécessairement optimaux.
- Si le niveau d'aspiration choisi n'est pas encore assez audacieux, on aboutit à une "sous optimisation".

### 3.3.2.2 Goal Programming Préemptif

C'est le modèle Goal Programming qui est le plus commun il nécessite que le décideur classe les objectifs  $f_1, \dots, f_k$  dans l'ordre de leur importance selon lui, ordre qui divise les objectifs en  $K$  classes de priorité avec  $1 < K > k$ .

On attribue à chaque classe  $q$ ,  $1 < q < k$  un ordre de priorité  $P_q$  qui signifie que la  $q^{\text{ième}}$  classe à la  $q^{\text{ième}}$  priorité. Ainsi, si l'objectif  $f_j$  est dans la classe  $q$  il est moins prioritaire que les objectifs qui appartiennent aux classes  $1, \dots, q-1$  mais plus prioritaires que les objectifs qui appartiennent aux classes  $q+1, \dots, K$ . On peut dire que la satisfaction des objectifs de niveau de priorité  $P_1$  est préférée à la satisfaction des objectifs de niveau de priorité  $P_2, \dots, P_K$ , que la satisfaction des objectifs de niveau de priorité  $P_2$  est préférée à la satisfaction des objectifs de niveau de priorité  $P_3, \dots, P_K$ .

Les facteurs  $P_q$  ( $1 < q < k$ ), conceptuellement différents des poids, sont rangés dans un ordre préemptif (non-archimédien) et notés habituellement  $P_1 \gg P_2 \gg \dots \gg P_k$  ce qui signifie qu'il n'existe pas de nombre réel  $a$ , aussi grand soit-il, tel que  $aP_{q+1} = P_q$  ou encore que tout objectif appartenant à la classe  $q$  a une priorité absolue sur tout objectif appartenant à la classe  $q+1$  [IGNIZIO, 1984, SCHNIEDERJANS, 1995].

La conséquence en est que la réalisation des objectifs doit être considérée dans l'ordre et non simultanément. Ainsi les objectifs de la classe 1 doivent être satisfaits en premier autant que possible indépendamment des autres objectifs ayant trouvé la meilleure réalisation possible des objectifs de la classe 1, les objectifs de la classe 2 doivent être satisfaits en second autant que possible est ainsi de suite.

Dans ce cas la formulation du Goal Programming du problème d'optimisation multiobjectifs (3.32) incorporant priorités préemptifs et poids des déviations positives et négatives est la suivante:

$$\text{Min } \sum_{q=1}^K P_q \left( \sum_{j \in J_q} (w_j^- n_j + w_j^+ p_j) \right) \quad (3.47)$$

Sous les contraintes:

$$\begin{aligned} g_i(x) & \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i & i = 1, \dots, m \\ f_j(x) + n_j - p_j &= \hat{f}_j & j = 1, \dots, k \\ n_j, p_j &\geq 0 & j = 1, \dots, k \\ x_l &\geq 0 & l = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$J_q$ : représente l'ensemble des indices des fonctions objectives appartenant à la classe de priorité  $q$ .

Cette formulation nous permet de considérer l'aspect mixte dans le problème multiobjectifs, i.e. à la fois ordinales (les poids préemptifs  $P_q$ ) et cardinal (les poids ordinaires  $w_j$ ) de l'information donnée par le décideur dans cette méthode:

Ou encore:

$$\text{Min } \left( \sum_{j \in J_1} (w_j^- n_j + w_j^+ p_j), \dots, \sum_{j \in J_k} (w_j^- n_j + w_j^+ p_j) \right) \quad (3.48)$$

Sous les contraintes:

$$\begin{aligned}
g_i(x) & \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i & i = 1, \dots, m \\
f_j(x) + n_j - p_j &= \hat{f}_j & j = 1, \dots, k \\
n_j, p_j &\geq 0 & j = 1, \dots, k \\
x_l &\geq 0 & l = 1, \dots, n
\end{aligned}$$

Ou encore :

$$\text{Min } \bar{a} = (a_1(n, p), \dots, a_K(n, p)) \quad (3.49)$$

Sous les contraintes:

$$\begin{aligned}
g_i(x) & \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i & i = 1, \dots, m \\
f_j(x) + n_j - p_j &= \hat{f}_j & j = 1, \dots, k \\
n_j, p_j &\geq 0 & j = 1, \dots, k \\
x_l &\geq 0 & l = 1, \dots, n
\end{aligned}$$

a : le vecteur réalisation pour lequel nous recherchons

$$\text{le minimum } a_q(\bar{n}, \bar{p}) = \sum_{j \in J_q} (w_j^- n_j + w_j^+ p_j)$$

On a vu que les contraintes rigides ou buts inflexibles  $g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i$  pouvaient

prendre la forme convertie suivante:

$$g_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad i = 1, \dots, m$$

La construction du modèle "Goal Programming préemptif" se ramène essentiellement à une conversion du modèle de base-le modèle d'optimisation multiobjectif (3.32) en modèle Goal Programming préemptif.

IGNIZIO [1984] et TAMIZ et.al.[1998] ont résumé les différentes étapes dans la formulation du processus de conversion comme suit:

1. Développer le modèle de base le modèle d'optimisation multiobjectif (3.32)
2. Associer des niveaux d'aspiration à tous les objectifs (dans le but de les transformer en buts flexibles).
3. Inclure les variables de déviation positive ou négative à chaque but flexible (à l'origine objectif) et à chaque but inflexible (ou contrainte)

4. Classer les buts (flexibles et inflexibles) selon leur importance, la priorité 1 est toujours attribuée aux buts inflexibles.
5. Établir la fonction de réalisation.

L'établissement de la fonction de réalisation (étape 5) nécessite quelques explications. Les trois formes possibles d'un but (flexibles ou inflexibles)  $g_i(x) \begin{pmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{pmatrix} b_i$  dans

le cadre du Goal Programming pouvaient prendre la forme convertie suivante:

$$g_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad i = 1, \dots, m$$

et que pour satisfaire un but (flexible ou inflexible) nous cherchions à minimiser la non-réalisation de ce but en minimisant une fonction linéaire de ses variables de déviation positive et négative soit  $w_j^- n_j + w_j^+ p_j$  et ce de la manière suivante:

**Tableau 3.4** Tableau convertisseur du Modèle Goal Programming

Buts flexibles ou inflexibles	Forme convertie	Variables de déviation à minimiser
$g_i(x) = b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	$n_i$
$g_i(x) \leq b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	$p_i$
$g_i(x) \geq b_i$	$g_i(x) + n_i - p_i = b_i$	$n_i + p_i$

Source: [IGNIZIO, 1984]

Les poids  $w_j^-$ ,  $w_j^+$  sont introduits par le décideur et indiquent l'importance accordée à la réalisation du but (flexible ou inflexible) ou encore permettent d'exprimer les différentes déviations en terme de mesure d'unité commune.

Cependant, on trouve les critiques majeurs adressés sur le modèle Goal Programming (SCHNIEDERJANS [1995], ROMERO[1991]) i.e. :

- Le décideur doit spécifier les objectifs et les priorités a priori
- Elle ne donne pas une approche systématique pour déterminer les priorités et définir les arbitrages entre le différent objectifs
- Dans leur méthodologie la détermination des poids des critères est réalisée à partie d'un seul niveau
- L'idée de l'explosion de la hiérarchie en plusieurs niveaux n'a pas été réalisée



L'approche programmation mathématique à objectifs multiples du Goal Programming a été appliquée dans plusieurs domaines, à son actif un nombre non négligeable d'application en prise de décision soit pour l'investissement public ou privée, soit pour la gestion et allocation de ressources, soit pour la décision stratégique etc.

Par exemple, pour n'en citer que quelques-uns parmi les plusieurs centaines des ouvrages/articles publiés, SUEYASHI [1998] utilise le modèle Goal Programming pour planification de l'infrastructure de la télécommunication au Japon. CIPTOMULYONO [1991] propose d'appliquer cette démarche au cas d'optimisation de la gestion de pollution de l'eau, alors que CHANG[1997] l'utilise pour la gestion des déchets.

Ainsi SCHNIEDERJANS [1993] propose son utilisation pour un cas d'allocation la richesse . On trouve dans SANTHANAM [1989, 1993] une application à la sélection d'un projet de système d'information. ARENAS et.al. [1998] appliquent le modèle au problème pour l'évaluation et la gestion de portefeuilles d'actions, le même sujet que HURSON et ZOPOUNIDIS [1996] l'a effectué. D'autres nombreuses application du modèle ont été décrits par HOLIN [1981], GOICOECHEA[1982], SUTADI et.al [1995], DEAN [1991], MUKHERJEE. [1995], BOSE [1995], RAMANATHAN et GANESH [1995], CIPTOMULYONO[1996, 1998, 1999].

Les articles de ROMERO [1991, 1986], SCHNIEDERJANS[1995], WHITE[1990] et aussi TAMIZ et.al. [1993] présentent une excellence liste d'ouvrage exhaustif consacré en entier ou en partie aux applications du modèle Goal Programming.

## CHAPITRE 4

### PRESENTATION DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU SECTEUR ENERGETIQUE INDONESIEN

Ce chapitre va consister en une présentation de la situation du secteur énergétique et de l'électricité de l'Indonésie, ainsi que la situation économique en général. Cette présentation permettra de mettre en évidence la politique du secteur énergie. Ceci est important au regard des développements de ce pays et notamment pour la problématique de base du développement des projets des industries électrique Indonésien.

#### 4.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

L'Indonésie constitue le plus grand archipel du monde (1,97 millions km, 13677 îles) réparti autour de la ligne de l'équateur. Elle s'étend sur une distance supérieure à Paris-Moscou (5 110 km) d'est en ouest, et s'étage sur une hauteur égale à Paris - Alger (1876 km) du nord au sud. Elle représente une étendue comparable à celles de l'Europe entière.

Sur les 13677 îles que compte l'archipel seules 6.000 sont inhabitées, cinq se détachent nettement par leur superficie:

- Java	:	131. 000 km <sup>2</sup>
- Sulawesi	:	187. 264 km <sup>2</sup>
- Irian Jaya	:	415.232 km <sup>2</sup>
- Sumatra	:	460. 800 km <sup>2</sup>
- Bornéo	:	532 .480 km <sup>2</sup>

Les surfaces émergées couvrent environs 1,9 million de km<sup>2</sup> sur lesquelles la souveraineté indonésienne a été officiellement reconnue (3 million de km<sup>2</sup>) et les zones économiques (3 million de km<sup>2</sup> supplémentaires) sur lesquelles le pays dispose d'un droit d'exploitation exclusive, aboutissent à classer l'Indonésie parmi les pays géants de la planète, après la Chine (9,6 millions de km<sup>2</sup>), les États-Unis (9,3 millions de km<sup>2</sup>), le Brésil (8,5 millions de km<sup>2</sup>) et l'Australie (7,6 millions de km<sup>2</sup>).

La géographie confère à l'Indonésie une grande importance stratégique. L'archipel décrit d'est en ouest un vaste arc de cercle qui forme une véritable barrière entre, d'une part, l'Océan Indien et, d'autre part, la Mer de Chine et l'Océan Pacifique. Cette situation privilégiée constitue un facteur favorable pour l'investissement étranger.

Néanmoins, l'étendue du territoire indonésien pose un problème crucial pour le développement du pays. En effet, la plupart des ressources naturelles- pétrole, gaz, charbon, hydraulique sont localisés dans des régions éloignées des centres de consommation comme l'île de Java, elle n'a que 7 % de surface totale, où se concentrent plus 59 % de la population totale de 210 millions (124 millions personnes) avec le plus gros de l'activité d'économique ainsi que la plus vaste consommation d'énergie, à l'inverse, l'Irian Jaya n'a que 22 % de surface totale, mais elle représente moins de 1 % de la population.

Grâce à sa position de région volcanique, les processus géologiques ont permis en Indonésie d'être région riche en ressources minérales et énergétiques. Les ressources énergétiques en Indonésie sont le pétrole, le gaz naturel, le charbon, la biomasse, l'hydraulique et la géothermique. Le pétrole, le gaz et le charbon jouent un rôle important dans le développement de l'Indonésie, assurant les 69 % des recettes des exportations en 1985, et près de 20 % de ressources budgétaires de l'année 1995 et de 27 % en 1998 [MIGAS, 1998 ].

## **4.2 SITUATION ECONOMIQUE ET ENERGETIQUE DE L'INDONESIE**

Compte tenu des difficultés passées et du taux d'inflation de 650 % en 1966, aucune personne n'aurait prédire que, dix années plus tard, l'économie indonésienne serait considérée comme un exemple de succès de petits "dragons" de l'Asie.

En effet, l'Indonésie a connu, dans les années 1990, une période de croissance économique rapide avec 7,8 % par an en moyenne. Cette croissance signifie le changement de l'économie agraire en industrie manufacturière, d'une faible consommation à une consommation intensive.

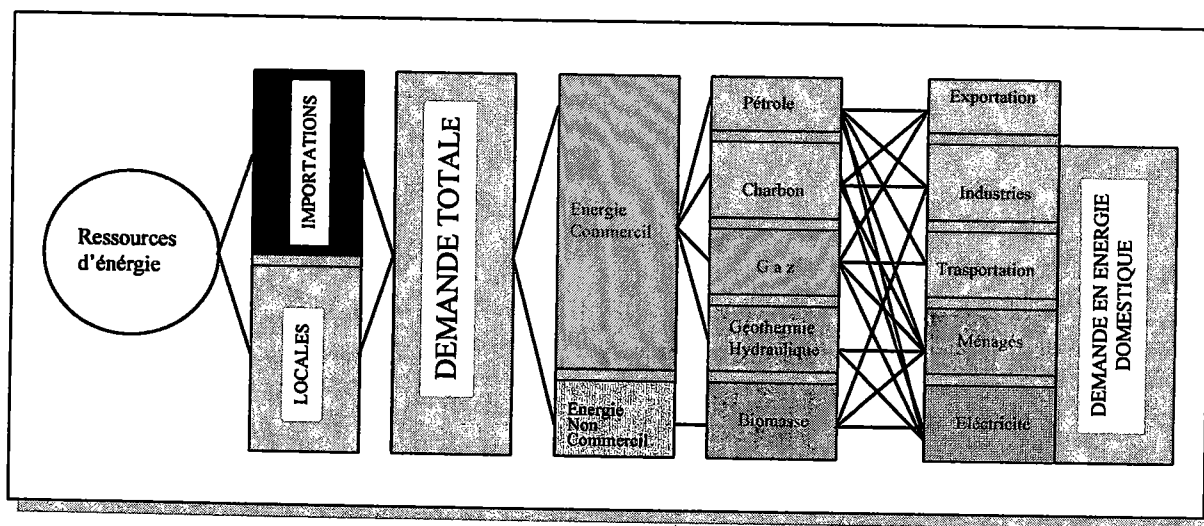
A l'inverse, pendant la crise financière a commencé à traverser l'Asie en 1997, la roupie n'est pas stabilisée, plongeon de 80 % à partir du Juillet 1997, les deux parties ont dû revoir l'objectif de croissance économique du pays à la baisse. L'ADB [1998] a confirmé qu'en Indonésie la croissance est passée en moyenne de 7 % en 1997 à moins 13 % en 1998, et à moins de 1 % en 1999. Ces conséquences signifient des changements budgétaires publics qui influent sur le développement des projets énergétiques Indonésiens.

#### 4.2.1 RESSOURCES ENERGETIQUES ET LA DEMANDE GLOBALE

L'Indonésie comme pour beaucoup d'autres pays exportateurs d'hydrocarbures, à produit son énergie à partir du pétrole. Sa facilité d'obtention, son abondance et son caractère bon marché l'ont conduit à satisfaire une grande partie des besoins énergétiques. Ces derniers ont connu une croissance rapide suite au développement de l'industrie, des transports et à une nette amélioration du niveau de vie. De plus, jusqu'à en 1997, la subvention dont a bénéficié le marché intérieur a permis de soutenir cette évolution en dépit de la hausse des prix internationaux.

Un tel schéma a provoqué une croissance plus rapide de la consommation énergétique que de la production pétrolière. Il importe d'insister sur le fait que la richesse pétrolière de l'Indonésie n'a pas été suffisante pour assurer son développement économique.

Le gouvernement d'Indonésie a réagi face au danger potentiel du pétrole comme unique source d'énergie (production totalement absorbée par la marche intérieure d'ici sept ans) en mettant l'accent sur quatre points fondamentaux [BKEN, 1995] l'accélération et l'intensification de l'exploration et du développement de toutes les sources d'énergie avec une priorité dans l'utilisation des ressources telle que les besoins intérieurs soient satisfaits tout en conservant le maximum de pétrole pour l'exportation, la conservation de l'énergie et l'amélioration des rendements, l'application de la forme d'énergie la meilleure et la plus efficace pour chaque besoin particulier.



**Figure 4.1** Flux des sources et des consommations énergétiques Indonésien

La figure 4.1 fournit un résumé d'approvisionnement de flux - énergie de demande en Indonésie. L'abondance de ressources naturelles permet de panacher les diverses sources d'énergie utilisables.

Les sources d'énergie pour satisfaire la consommation, comme dans la plupart des pays, se composent d'énergie commerciale et non commerciale. Cette dernière, bien qu'en net déclin, satisfait toujours un fort pourcentage des besoins totaux, 45% en 1982 et 31% en 1991 [KLEEMANN, 1994]. La consommation d'énergie commerciale a, de son côté, quadruplée entre 1983 et 1993.

Elle se caractérise par une part prépondérance du pétrole et par deux débouchés essentiels: l'industrie et l'électricité

L'énergie non commerciale est constituée principalement de biomasse (le bois de feu et le charbon de bois). Elle est utilisée par les ménages pour la cuisson des aliments et dans les petites industries artisanales. D'autres types d'énergie non commerciales jouent un rôle moins important tel le charbon de bois.

Les sources d'énergie commerciale sont constituées du pétrole, du charbon, du gaz naturel, de l'hydraulique, du géothermique. D'autres types d'énergie source telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie marémotrice "OTEC" (*Ocean Tidal Energy Conversion*) jouent un rôle beaucoup moins important, parce que ces sont des projets pilotes expérimentés dans quelques régions d'Indonésiens

## 4.2.2 RESSOURCES EN ENERGIE PRIMAIRE

### 4.2.2.1 Pétrole

La réserve de pétrole brut d'Indonésien est estimée en 10.731 Milliards de barils [MIGAS, 1991] ce qui équivaut à 758,329 Mtep (voir le tableau 4.1). Avec le taux de la production moyenne de 68,9 Mtep annuel de 1985 à 1995, les réserves seront épuisées dans 11 années s'il n'y pas de nouvelle découverte.

Les géologues pensent que le bassin de l'archipel indonésien contient des ressources de 30 à 40 milliards barils pas encore explorés. De telles réserves potentielles se situent "off shore" ou dans le fond marin. Ces réserves potentielles nécessitent cependant en investissement financier risque pour le mettre en évidence.

Le gouvernement d'Indonésie a réagi face au danger potentiel du pétrole comme unique source d'énergie en mettant l'accent sur quatre points fondamentaux [BKEN, 1995]

- l'accélération et l'intensification de l'exploration et du développement de tout les sources d'énergie
- une priorité dans l'utilisation des ressources celle que les besoins antérieurs soient satisfaits tout en conservant le maximum de pétrole pour l'exportation
- la conservation de l'énergie et l'amélioration des rendements
- l'application de la forme d'énergie la meilleure et le plus efficace pour chaque besoin particulier.

**Tableau 4.1** Prévision de la réserve de ressource d'énergie première en Indonésie

Location	R é s e r v e				
	Pétrole (10 <sup>6</sup> Barils)	Gaz Naturel (10 <sup>12</sup> Scf)	Charbon (10 <sup>9</sup> Tonne)	Géothermie (10 <sup>9</sup> Watt)	Hydraulique (10 <sup>6</sup> Watt)
Sumatra	7.933	19,1	24,78	4,9	15,6
Java	1.325	12,4	0,06	7,8	4,2
Natuna	391	45,0	-	-	-
Borneo	1.002	24,4	9,36	-	21,6
L'autres Îles	80	0,9	0,11	3,4	33,6
Totale	10.731	101,8	34,31	16,1	75,0

Source : MIGAS [1991]

Note:

7,4847 bls = 1 tep  
 41,66 Mscf = 1 tep  
 1 Mwh = 0,2365 tep (sous une hypothèse de rendement de 34 %)

#### 4.2.2.2 Gaz naturel

Il a été découvert à la fin du siècle dernier en Indonésie, mais les difficultés de transport et de distribution ont empêché une commercialisation rentable à court terme; de ce fait, le gaz produit a été, pendant de longues années, brûlé à la torche. Le contexte s'est modifié avec l'apparition de la technique de liquéfaction. La découverte en 1971 et 1972 d'importantes réserves à Arun (Sumatra) et Badak (Borneo) a donné l'occasion de produire de GNL (Gaz Naturelle Liquide) à grande échelle.

L'activité se concentre sur trois champs principaux: Arun, Bontang et Natuna. Le relais du pétrole semble donc assuré par le gaz compte tenu de l'important potentiel de l'Indonésie.





L'expansion rapide du marché indonésien a fait de ce pays le premier exportateur mondial de GNL (70% du commerce mondial en 1994) devant l'Algérie. 70 % du gaz produit est exporté sous forme de GNL vers le Japon qui achète 50 % de ses besoins auprès de Pertamina. L'Indonésie cherche cependant à diversifier ses débouchés tout en se concentrant sur l'Extrême Orient (Corée, Taiwan). A partir de 1986, la Corée du Sud bénéficie des exportations du GNL indonésien pour un montant annuel de 2 Mt et une durée de 20 ans [MIGAS, 1996]

La part des recettes gazières dans le total des exportations indonésiennes s'est, en conséquence, considérablement accrue, exportation de GNL (7,2 Milliard de \$) part dans les exportations totales ( 11%) en 1995.

La réserve de gaz naturel prouvée et son potentiel en Indonésie est estimé à  $101,8 \cdot 10^{12}$  scf. Le chiffre inclut l'énorme réserve du champ du Gaz de Natuna. Ses réserves en gaz naturel promettent une meilleure énergie et pour l'économie indonésienne dans les années à venir.

Natuna est un gisement off shore dans la Mer de Chine dont les réserves dépasseraient celles du Nord-Ouest de Bornéo considérées comme énormes. La réserve est de 45000 Milliards Scf c'est-à-dire de 40 % des réserves totales du pays. Malheureusement, ces réserves contiennent 70 % de CO<sub>2</sub>. Natuna n'est pas encore développé et s'il est développé cela permettra de produire plus que celles de Bontang et Arun, les deux usines qui permettront à l'Indonésie de devenir le premier exportateur de GNL du monde

#### **4.2.2.3 Charbon**

Les réserves sont estimées à environ de 34,31 Milliard de Tonnes. Les gisements les plus importants se trouvent à Sumatra et Bornéo. Des réserves plus petites ont été identifiées sur les îles de Java, Sulawesi et Irian Jaya.

La production de charbon est déjà ancienne en Indonésie: elle remonte à plus de 100 ans. En 1941, l'extraction atteignait le niveau record de 2 Million de tonnes. Elle n'a cessé de baisser depuis et s'est située en 1983 aux environs de 0,5 Million de tonnes.

Cette érosion s'explique par le fait que l'Indonésie s'est tournée après la seconde guerre mondiale vers des sources jugées plus économiques: les hydrocarbures. Disposant d'abondantes ressources pétrolières et gazières, elle a négligé les mines en activité et a ignoré les réserves de charbon qui pouvaient se trouver dans son sous-sol.

Compte tenu de la politique de diversification envisagée, le pays investira, dans les années à venir, de plus en plus sur le charbon. Sur le marché intérieur, la production d'électricité apparaît comme l'un des principaux débouchés du charbon.

Les efforts considérables du gouvernement se sont fait dans le développement du charbon. La réhabilitation des mines les plus vieilles, Bukit Asam et du champ d'Ombilin devrait permettre d'alimenter totalement l'Indonésie et exportateur des quantités plus significatives. En 1983, les exportations montant à 14.000 tonnes sur les marchés malaysiens, coréen, vietnamien et japonais. La production du charbon a cru plus vite que le projet de croissance de 11,6 % par an. Il est prévu en l'année 2020 4,4 milliards de tonnes ce qui représente 13 % de la ressource totale. Sans doute, elle est la plus importante ressources énergétiques Indonésiennes

#### **4.2.2.4 Hydraulique**

L'Indonésie possède des ressources hydrauliques importantes: des études récentes ont montré qu'une puissance de 77 000 MW pourrait être atteinte. Jusqu'en 1995, elle était de 3200 MW.

Cependant, la complète réalisation de ce potentiel constitue un défi pour les planificateurs: d'une part, le montant et la durée de l'investissement nécessaire sont élevés et d'autre part, 90 % de ces ressources se trouvent dans des îles de Java, c'est-à-dire éloignées des principaux centres de consommation.

Pour exemple, 60 % du total des réserves se situe à Bornéo et Irian Jaya. Par contra, Java avec la plus densité de population n'a que 5,6 % de ces réserves [PLN, 1996]

#### **4.2.2.5 Géothermie**

Les nombreux volcans indonésiens (138 actifs) indiquent un potentiel utilisable important. L'estimation de la capacité de génération est 16100 MW. Java et Bali possèdent la moitié de la ressource totale.

Une exploration intensive ressources de géothermiques doit être engagée afin de développer cette source d'énergie. Une contrainte est le prix la vapeur. Par conséquent en 1991 seulement 140 MW était en fonctionnement. Une augmentation de la capacité permettra l'utilisation 220 MW. Ces capacités représentent 2,3 % de la réserve totale [PLN, 1994-a.

#### 4.2.3 CONSOMMATION D'ENERGIE

Les dix dernières années, la consommation d'énergie a augmenté rapidement. Notamment, depuis 1985 la demande d'énergie électrique a crû de 16 % par an en moyenne. Le pétrole est la principale source d'énergie pour les besoins intérieurs. Il est utilisé pour le transport, l'industrie, domestique ainsi que l'électricité.

C'est à cause de la croissance de l'économie indonésienne que la consommation d'énergie primaire a augmentée énormément. Elle représente 7.1 % du PIB par an. La croissance de l'économie a créé encore plus de demande d'énergie, particulièrement pour l'électricité.

En plus de l'utilisation intérieure, les énergies commerciales d'Indonésiennes telles que le gaz, le charbon, le pétrole sont exporté. Les pays industrialisés comme le Japon, la Corée du Sud, les États-Unis, et Taiwan sont cibles de ces exportations.

Pour les années à venir, le gouvernement vise à augmenter la part des ressources hors pétrole, comme le charbon, le gaz naturel, le géothermique, l'hydroélectrique et les énergies renouvelables (biomasse) dans la consommation énergétique totale.

Le tableau 4.2 montre de la consommation d'énergie primaire en 1985 et en 1997. Ce tableau met aussi en évidence l'importance du pétrole dans le bilan énergétique Indonésien.

On peut remarquer que la principale ressource d'énergie en Indonésie dans ces dix années sont pétrole et le gaz naturel. La contribution des ressources énergie fossile était énorme soit 99 % de la consommation d'énergie totale. La contribution d'hydroélectrique est en très basse, ainsi que le géothermique.

En terme de consommation d'énergie per population, le chiffre est le plus bas des pays industrialisés i.e. 0,22 tep per population en 1985 et 0,37 tep per population en 1997.

**Tableau 4.2** Consommation d'énergie primaire en Indonésie  
pour les années 1985 et 1997 ( Mtep)

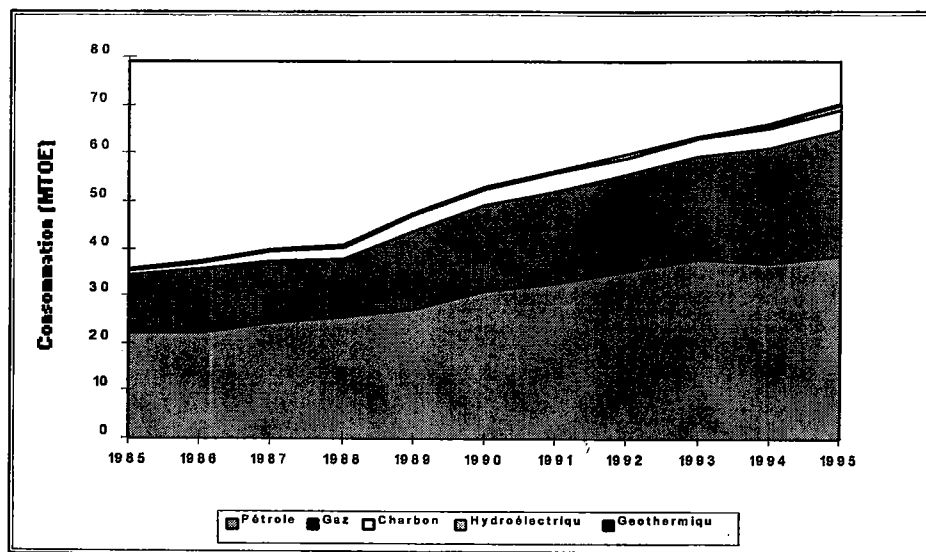
Types d'énergie Sources	1985		1997	
	Consommation (Mtep)	Contribution (en %)	Consommation (Mtep)	Contribution (en %)
Pétrole	22.0	62,5	38.6	55,8
Gaz Naturel	12.3	34,9	26.3	38,0
Charbon	0.9	2,5	4.2	6,0
Hydraulique	0.2	0,1	0.8	1,1
Géothermie	0.0	0	0.1	0,1
Total	35.2	100.0	69.19	100.0

Sources : MIGAS [ 1998]

Note; (Mtep) Million de tonne équivalent pétrole

Il est convenable de noter que les autres ressources d'énergie, notamment la biomasse qui ne sont pas exposées dans ce tableau. Elles sont utilisées intensivement dans les zones rurales, les villages en Indonésie pour l'énergie domestique. L'énergie nucléaire n'a pas encore exploité parce qu'il y a diverses sources d'énergie utilisables considérées comme moins chères et sans risque. Cependant, des études approfondies et les débats contradictoires sont menés pour étudier la possibilité de l'utilisation du nucléaire, spécialement pour satisfaire la demande croissante forte en l'électricité de Java.

La consommation totale d'énergie primaire s'est élevée de 35.2 Mtep à 69.19 Mtep. Elle a crû de 7 % par l'an entre l'année 1985 et l'année 1995, pour le pétrole de 5,7% par an en moyenne [BP, 1995 ]. Cependant, en terme d'un choix composite d'énergie (énergie mixte), la contribution du pétrole dans la consommation totale d'énergie a diminué pendant cette période. Par contraste, la forte croissance de la consommation du gaz naturel a augmenté de 13 % par an en moyenne.



Source: B.P.[1996].

**Figure 4.2** Consommation d'énergie en Indonésie par source primaire

Note:

- MTOE : Million tonne oil Équivalent.
- La croissance annuelle de la consommation d'énergie totale : 7,0 %; Pétrole : 5,7 %; Gaz Naturel : 13,0%; Charbon : 16,6 %.

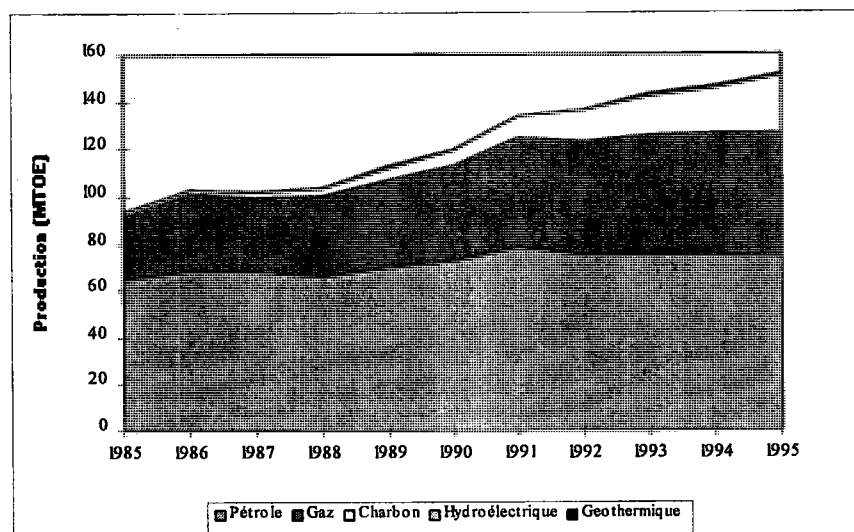
#### 4.2.4 PRODUCTION ET EXPORTATION D'ENERGIE

Le tableau 4.3 montre la production d'énergie primaire (d'énergie fossile) entre les années 1985 et 1996. Si on compare le taux de consommation et de production de toutes les d'énergies primaires notamment les énergies fossiles, on a remarque que ne baigne de la contribution du pétrole par rapport au gaz naturel ainsi qu'une croissance significative de la contribution du charbon.

**Tableau 4.3** Production et contribution par source d'énergie première  
en Indonésie pour les années 1985 et 1996 (Mtep)

Types d'énergie Sources	1985		1995	
	Production (Mtep)	Contribution (en %)	Production (Mtep)	Contribution (en %)
Pétrole	64,0	68,9	73,8	48,8
Gaz	27,7	29,8	52,6	34,7
Naturelle				
Charbon	1,0	1,1	24,0	15,9
Hydraulique	0,2	0,2	0,8	0,5
Géothermie	0,0	0	0,1	0,1
Totale	92,9	100,0	151,3	100,0

Sources : B.P.[1996]



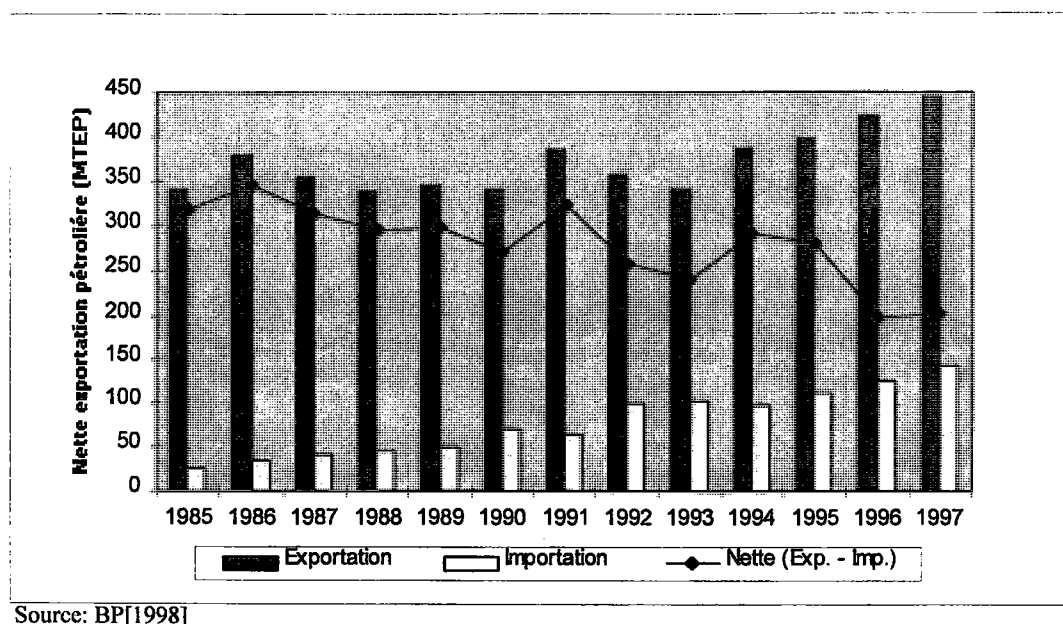
Source: B.P. [1996]

Croissance de la production d'énergie totale : 4,9 %; Pétrole : 1,4 %; Gaz Nature 6,6%; Charbon : 37,4

**Figure 4.3** Production d'énergie en Indonésie par source première

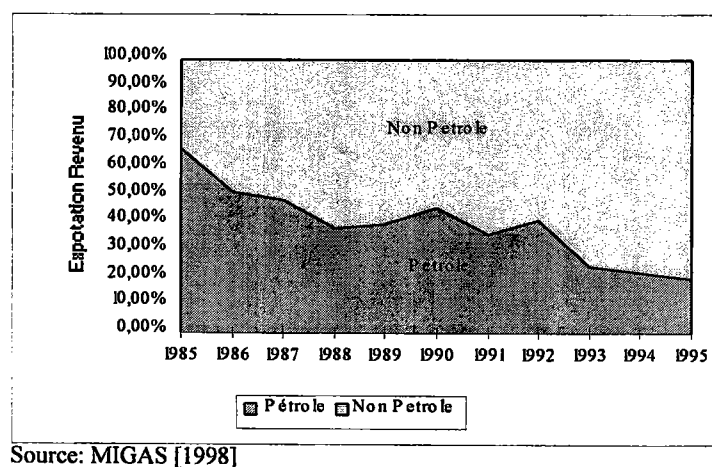
L'Indonésie exporte le pétrole brut et des produits pétroliers. Par contre, Indonésie l'importe certains bruts pour la raffinerie intérieure et quelque produits pétroliers, vente de pétrole de bonne qualité et importation de pétrole de qualité inférieure pour gagner des devises. L'exportation pétrolière nette a une tendance de décroître.





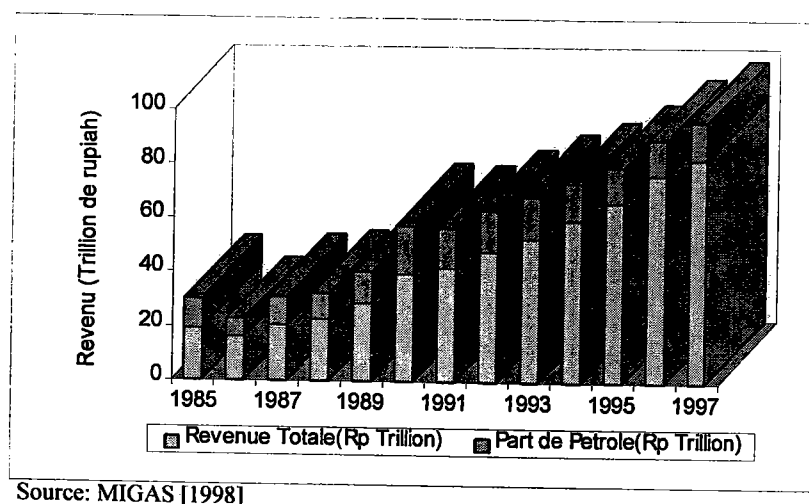
**Figure 4.4** Exportation pétrolière nette (1985- 1997)

On trouve aussi la même voie, la part d'exportation du pétrole dans les exportations totales en général est diminué comme la montre à la figure suivante.



**Figure 4.5** Part de l'exportation du pétrole dans les exportations totales

On trouve les revenus du pétrole part dans le revenu total gouvernement sont variés à cause du prix international fluctué de temps en temps. Cependant, il est nécessaire de noter sérieusement qu'il y a une tendance de la diminution de revenu de l'exportation du pétrole en Indonésie.



**Figure 4.6** Part de revenus du pétrole dans le revenu total gouvernement (1985-1997)

Selon des figures précédentes, la part du pétrole sur le revenu total du gouvernement décroît sensiblement. En plus, si les tendances de l'augmentation de l'import et de la diminution de l'exporte varient de la même manière, l'Indonésie va devenir un pays importateur de pétrole avant la fin du prochain siècle.

Lors que la croissance économique d'Indonésie s'accroît fortement comme dans les années passées avant de la crise, la demande en pétrole va augmenter d'une manière significative. Dû fait de la consommation intérieure forte, le pétrole brut et les produits dérivés disponibles pour l'exportation vont décroître. D'autre part, le pétrole brut et les produits dérivés vont s'accroître. En conséquence, en supposant, on suit la tendance à partir de l'année 1985 à 1997, l'Indonésie va devenir un pays importateur de pétrole dans sept ans l'avenir.

Cependant, il est convenable de noter que, en effet, les données de l'import et de l'exporte fluctuent, donc il est difficile d'estimer le futur. D'autre part il faut noter que le changement de la position d'exportateur à importateur du pétrole dans le cas de l'Indonésie n'est pas à interprété comme "la fin du monde".

Il est compréhensible de noter que les autres des sources d'énergie primaires particulièrement le charbon, le gaz naturel, et l'hydroélectrique devront jouer un rôle important pour

substituer du pétrole, en satisfaisant le besoin d'énergie intérieur d'Indonésie dans les années à venir.

En plus, il y a la possibilité de découvrir de nouvelles réserves, et tour à tour, d'augmenter la capacité de la production. Les réserves de pétrole de l'Indonésie sont à peine explorées. Parmi les 60 "*sedimentary basin*" (bassins sédimentaires), seul 36 bassins ont été explorés. De plus, la production d'aujourd'hui ne provient que de 14 bassins. Les explorations doivent être encouragées, notamment en "off shore" ou dans les archipels éloignés tel la mer de Madura, Maluku, Irian Jaya etc.

Le gouvernement a lancé le programme "*do not depend on oil*" comme le principal "thème" de sa politique énergétique et les effets sont significatifs comme on peut le voir dans le changement de la consommation et la production d'énergie primaire.

### 4.3 INDUSTRIE ELECTRIQUE EN INDONESIE

Avoir la présentation des problèmes et les données envisagées du secteur énergie de l'Indonésie, cette section va consacrer à présenter son industrie électrique qui est fortement influencée et liée avec de cette primaire.

Le secteur électrique Indonésien est contrôlé par les pouvoirs publics sous forme d'un monopole public dans la production, le transport et la distribution. La structure organisationnelle du secteur électrique: est l'intégration verticale totale du monopole. C'est la Société Nationale d'Électricité de l'Indonésie "PLN" ("*Perusahaan Umum Listrik Negara*") qui assume toutes les activités de production, de transport et de distribution.

L'industrie électrique Indonésienne est caractérisée par deux problèmes significatifs. Le premier, la consommation per population est très basse. En 1994, la consommation d'électricité per population est de 333 kW, alors que celle de la Malaisie est 1067 kW, et celle de la Thaïlande est 514 kW et en France de 4500 kW per population. Le deuxième facteur est l'augmentation de la demande d'électricité relativement très forte i.e. 17,6 % de 1981 à 1996. Pendant la même période, la capacité de production électrique d'Indonésie n'a augmenté que de 14,5% par année.

La consommation électrique très basse per population d'une part et la forte croissance de la consommation d'électricité d'autre part, implique que le gouvernement a besoin d'investir énormément pour développer le secteur électrique. Le gouvernement a estimé qu'il avait

besoin 4 -5 Milliards de dollar US par année et environ totale de 66,1 Milliards de dollar pour la période de 1996 à 2001.

#### 4.3.1 MARCHE D'ELECTRICITE

L'industrie électrique d'Indonésie opère sous une forte contrainte, celle de l'ajustement, à tout instant de l'offre à la demande dans les meilleures conditions de coûts et de sécurité. Pour permettre n pareil ajustement, une succession de décisions nombreuses est nécessaire à des échéances très variables:

- à très court terme, où sont en jeu l'approvisionnement en combustible, les programmes d'entretien, ainsi que la conduite du système en temps réel.
- à moyen et long terme, pour lesquels devront être prises les décisions de construction d'équipements en moyens légers pour les besoins de pointe et en moyens lourds pour les besoins de base
- à très long terme, où sont nécessaires les choix en matière de filières de production.

Les techniques d'utilisation de l'électricité sont extrêmement variées et se regroupent en deux grandes catégories:

- les usages captifs ou spécifiques, pour lesquels aucune autre forme d'énergie n'est substituable à court terme à l'électricité
- les usages concurrentiels pour lesquels l'électricité est en concurrence directe avec les autres énergies.

##### 4.3.1.1 Usage spécifique

Ces usages ont constitué le moteur initial de la progression des consommations d'électricité. Leur développement a néanmoins beaucoup progressé ces dernières années en Indonésie, du fait notamment de la progression de l'économie.

Les usages spécifiques représentent actuellement 67 % environ de la consommation intérieure Indonésienne d'électricité.

La majeure partie, environ 34 % de la consommation d'électricité dans le secteur industriel est due aux usages spécifiques.

#### **4.3.1.2 Usage concurrentiel**

Les usages concurrentiels représentent 67 % environ de la consommation intérieure Indonésienne d'électricité. Ce sont, pour l'essentiel des usages thermiques de l'électricité qui se substituent à des utilisations directes de combustibles fossiles.

Les usages concurrentiels d'électricité représentent 50,90 4 % environ de la consommation du secteur industriel [PLN,1998]. Leur développement particulièrement dynamique durant la dernière décennie, à largement contribué, outre les économies d'énergie, à la baisse de la consommation de combustibles fossiles dans l'industrie.

Dans le secteur résidentiel dont la part dans l'ensemble des résidences principales est passée entre 1980 et aujourd'hui de 43,66 % environ à plus de 32 %

La climatisation est le principal usage concurrentiel dans le secteur tertiaire et est largement implanté dans les bureaux, dans l'hôtellerie et la restauration, ainsi que dans le grand commerce pour lesquels l'offre combinant chaleur/climatisation est un plus indéniable.

#### **4.3.2 PRINCIPAUX DETERMINANTS DE LA DEMANDE D'ELECTRICITE**

Tout exercice de prévision de consommation suppose une analyse approfondie et préalable des facteurs ayant une influence sur la demande d'électricité. Ces facteurs sont nombreux et concernent les domaines suivants.

##### **4.3.2.1 Environnement socio-économique**

La croissance économique, tant dans son niveau (mesuré globalement par la croissance du PIB) que dans sa structure est aujourd'hui incontestablement le facteur prépondérant dans l'évolution de la consommation.

Les évolutions de l'activité, à court, moyen ou long termes, se reflètent très directement dans le niveau de la consommation d'électricité. Bon nombre d'observateurs économiques ont d'ailleurs songé à utiliser l'évolution des consommations d'électricité pour bâtir des indicateurs avancés de la conjoncture [PURNOMO, 1995].

La pénétration accrue de l'électricité dans les domaines concurrentiels oblige à suivre la compétitivité relative des énergies dont les prix sont un élément déterminant.

La démographie et le mode de vie influant également très directement sur l'évolution de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel et méritent à ce titre une analyse approfondie.

#### **4.3.2.2 Politique énergétique**

La politique énergétique a un impact certain sur la consommation d'électricité. Rappelons la vulnérabilité de l'Indonésie au moment des crises énergétique ("energy crunch"), une panne d'électricité journalière dure parfois jusqu'au 12 heures en raison d'un niveau d'indépendance énergétique faible et continûment décroissant (épuiement des gisements de gaz, perte de compétitivité du charbon national, absence d'hydrocarbures dont la consommation ne cessait de croître).

Une électricité abondante étant ainsi disponible à un coût tout à fait attractif, de nouvelles applications de l'électricité ont pu être développées en concurrence avec les autres énergies.

La part de l'électricité dans la consommation indonésien en énergie primaire n'a lors cessé de croître, passant de 7 % en 1973 à près de 40 % en 1993 [ADB, 1996].

#### **4.3.2.3 Moyens propres à l'entreprise**

Les compagnies d'électricité peuvent également influencer dans une large mesure sur la consommation d'électricité.

Ainsi, dans le cas de l'Indonésie, la PLN a accompagné les grands choix énergétiques nationaux d'une politique extrêmement volontariste de Recherche et de Développement visant à améliorer les qualités des applications proposées et qui explique le succès de l'électricité

Enfin, la tarification peut constituer en levier important sur la demande. L'envoi d'un signal tarifaire détaillé suivant des périodes hors saison peut en effet permettre au client de réaliser des économies substantielles, des lors qu'il lui est possible d'orienter ses consommations vers des périodes moins coûteuses.



### 4.3.3 CRISE DE SOUS CAPACITE DE L'INDUSTRIE ELECTRIQUE

En raison de la forte croissance économique de ces dernières années, l'augmentation de la demande d'énergie électrique en Indonésie se poursuit à un rythme élevé. La demande d'électricité s'est accrue beaucoup plus vite que le PIB (Voir le table 4.5).

Ce tableau traduit une forte croissance de la consommation d'énergie électrique entre 1985 et 1990 (environs 17% par an) et, au contraire une croissance ralentie de celle-ci entre 1990-1995 (environ par an sur cette seconde période).

L'élasticité de la consommation en énergie par rapport au PIB a été légèrement supérieure au cours de la période de 1985/1990, la consommation en énergie par unité de PIB, c'est-à-dire pour un produit d'une valeur de 1 rupiah constate, a eu tendance à s'accroître.

Au contraire, sur la période de 1990-1995, la croissance moyenne du PIB a été de 7,1%, alors que la croissance de la consommation d'énergie électrique n'a été que de 15,6 % ce qui correspond à une élasticité de 2,19. L'élasticité est moindre que sur la période précédente, et ceci traduit un net effort d'économie d'énergie électrique.

**Tableau 4.4** Croissance du PIB et de la consommation d'électricité en Indonésie (Période 1980 -1995)

Taux (par an)	Période 1980/85	Période 1985/90	Période 1990/95
Croissance du PIB (%)	6,70	6,30	7,10
Croissance de la consommation d'électricité (%)	14,10	16,90	15,60
Élasticité de demande (électricité/PIB)	2,47	2,68	2,19
Croissance d'expansion de la capacité électrique (%)	16,10	10,90	14,40

Source: ADB (1996) et PLN[1998]

Cependant, le vrai problème est révélé par la comparaison entre le taux de croissance de la consommation d'électricité et celui d'expansion de la capacité du parc électrique. Par exemple, alors que le taux de croissance de la demande d'électricité est passé de 14,1% à 15,6 % par an, l'expansion du parc électricité est passée de 16,1 % à 14,4 %.

Cet écart grandissant entre l'offre et la demande est à l'origine de la crise énergétique en Indonésie. Dans ce contexte de crise de sous capacité, plusieurs solutions sont envisagées: recours aux investisseurs privés, mais aussi programme de rattrapage rapide (fast track

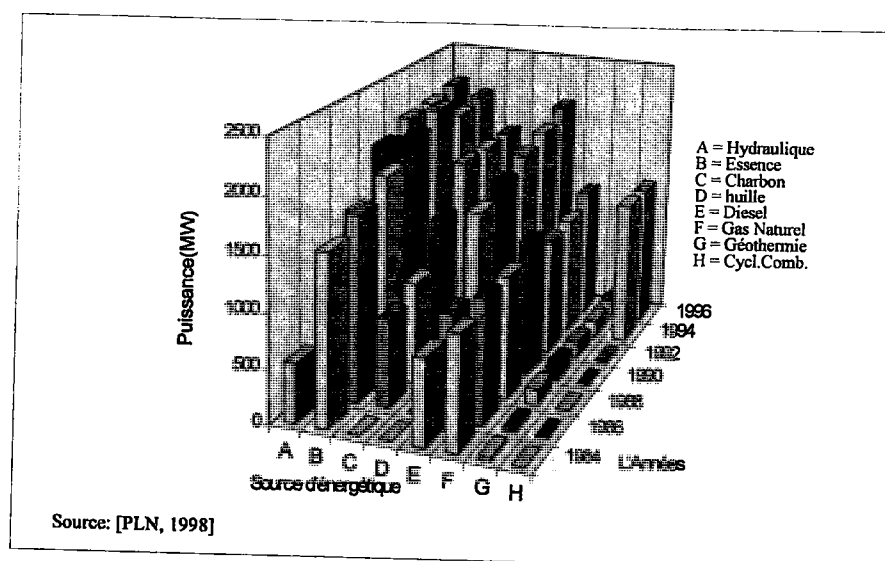
program), programme de maîtrise de la demande (DSM Program) et un éventuel recours à l'énergie nucléaire pour le long terme.

En Indonésie, durant la période 2001-2005, une augmentation de capacité de 14000 MW est prévue, nécessitant un financement de US \$ 65 Milliards et le secteur public ne peut en fournir que 30%. La PLN compte sur le secteur privé pour construire au moins 6500 MW de capacité sur un total de 14000 MW.

Par ailleurs, une crise financière a touché en Indonésie en milieu de l'année 1997, l'endettement actuel d'Indonésie pose des difficultés pour l'obtention de prêts, l'ensemble des sources de financement et l'épargne nationale ne sont plus en mesure de satisfaire ce besoin immense en capital. Cela conduit à un rééchelonnement des projets d'infrastructure nécessitant autant d'investissement, sans exceptionnelle des projets électriques.

#### 4.3.4 OFFRE ET DEMANDE EN ELECTRICITE EN INDONESIE

L'industrie électrique opère sous une forte contrainte, celle de l'ajustement. La production d'électricité à usage privé est autorisée, mais la vente d'électricité au public est interdite. La figure suivante décrit la puissance installée en Indonésie de l'année 1984 à l'année 1996. On trouve que les plus part des ressources d'énergétique en Indonésie d'origine pétrole.



**La Figure 4.7** Croissance de la puissance installée en Indonésie fournit par PLN

Le tableau 4.5 présente la projection de demande en énergie électrique et de la production de la production d'électricité fournie par la PLN, selon les "scénario" envisagés par PLN dans l'année qui vient.

**Tableau 4. 5** Projection de la consommation totale d'électricité et la production électrique en Indonésie fournie par la PLN ( TWH)

Région du système	L'année							
	1999-2000		2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	Consom.	Product.	Consom.	Product.	Consom.	Product.	Consom.	Product.
Java-Bali	78,4	91,4	86,3	99,6	94,8	107,8	103,5	116,4
L'autres îles	36,9	25,1	41,6	28,2	46,7	31,35	52,3	35,1
Total	115,3	116,5	127,9	127,8	141,5	139,2	155,8	151,5

Source: PLN [1995]

Il faut noter que la part de la demande hors du système de Java Bali augmente fortement de 30,9 % en 1998 à 34,2 % en 2003, elle reflète la forte vitesse de croissance en hors de Java Bali (les autres îles), comparé à Java et Bali.

La contribution de la demande d'électricité auto produite est satisfaite par la production particulière ("*captive generation*"), gérée par le consommateur lui-même (auto génération) en considérant ses besoins. Principalement, la production particulière est sensée satisfaire par une économie d'ajustement, le part de la demande d'industrielle occupé par la PLN

Dû fait d'avoir de nombreuses d'îles, l'Indonésie possède quelques systèmes indépendants. Quant à la puissance de capacité installée, système de Java - Bali, elle plus que 73 % de capacité nationale totale. C'est pourquoi nous allons nous y intéresser plus particulièrement.

D'après l'analyse du PLN, la contribution future du système interconnexion de Java Bali en, devrait entre 70 % et 73 %. Celle ci aboutit au maximum de chargement prévu de Java Bali et il faut donc une capacité supplémentaire pour satisfaire la demande :

Nous allons tout d'abord nous intéresser au développement des projets électriques planifiés et proposés pour atteindre les besoins de l'année qui suit, après la planification stratégique de la PLN [PLN, 1995].

On a trouvé 18 projets prédéterminés ceux qui ont été passés une d'étude faisabilité et sont planifiés pour satisfaire de ces besoins de l'année 2000 à 2005. En considérant que l'écart de temps entre l'installation et la commission, on a 18 projets qui peuvent être considérés comme les alternatifs des projets énergétiques de type conventionnel tels que le pétrole, le gaz naturel, l'hydroélectrique, la géothermique et le charbon.

Ces 18 alternatives projets proposés par le PLN feront de notre sujet d'étude sur les quels nous allons mis en ouvre le système d'aide à la selection développée. La liste des projets et ses données pertinentes est présenté en ANNEX- III au tableau 3.1.

#### 4.3.5 REFORMES INSTITUTIONNELLE EN FAVEUR DE LA PRIVATISATION

En Indonésie, durant la période 1995-2009, une augmentation de capacité de 47500 MW est prévue, selon RAMELAN[ 1994 ], nécessitant un financement de \$ 66,7 milliards, et le secteur public ne peut en fournir que 30 %. Plus de la moitié de ce financement doit être chercher à l'étranger, alors que la politique du Gouvernement de limite la dette extérieure. C'est pour quoi, le secteur privé est appelé à apporter sa contribution pour réduire l'écart grandissant entre l'offre et la demande d'électricité et pour alléger les charges financières de l'État.

Avant les crises financières d'Asie, l'Indonésie, un des pays les plus dynamiques de l'économie mondiale actuelle, engage la privatisation du secteur électrique. Les barrières d'entrées institutionnelles du secteur privé dans le domaine électrique sont levées:

- conduisant à la fin des monopoles publics
- des entreprises nationales ont été converties en sociétés privées commerciales et promues dans le marché financier
- les actifs publics de production d'électricité ont été vendus à des sociétés privées initialement créées par les entreprises publiques
- les participations des producteurs indépendants d'énergie aux projets de développement électrique sont encouragées.
- des schémas de participation tels le BOD (*Build Own Operate*) ou le BOT (*Build Operate Transfert*) sont élaborés.

La chronologie de la privatisation des industries électriques en Indonésie est présentée dans le tableau récapitulatif 4.6.

Cependant, l'électricité est toujours considérée comme le catalyseur du développement économique et social. L'État doit intervenir dans la gestion du secteur électrique. Bien que la privatisation peut permettre d'attirer les capitaux privés, d'alléger les contraintes budgétaires publiques et d'introduire la concurrence, source d'efficience, mais le gouvernement de l'Indonésie a resté le rôle joué dans la planification et la coordination.

Afin de mettre en lumière le processus du développement de projet électrique plus convenable, quelques lois et les réglementations liées à la privatisation de secteur électricité de l'Indonésie est proposée d'évaluer par le nouveau gouvernement.

**Tableau 4.6** Chronologie de la privatisation des industries électriques en Indonésie

L'Anne	Actes de réforme institutionnelle en faveur de la privatisation
1985	Promulgation de la loi n° 15 qui met fin au pouvoir monopolistique de PLN en autorisant le secteur privé à produire et vendre de l'électricité.
1990	Etablissement d'une équipe interministérielle "Private Power Team" ayant pour mission principale de définir les lois et les réglementations relatives à la participation du secteur privé dans la production d'électricité.
1992	Publication du décret présidentiel n° 37 "Private Entreprises for Electric Power Supply" invitant les entreprises privées à participer à la production d'électricité.
1993	Publication d'un décret complémentaire au décret précédent par le ministère des Mines et de l'Energie intitulé "Régulations for the Implementation of Private Sector and Cooperative Entreprises for Electricity Supply for Public Use". Ces deux décrets constituent la politique actuelle du Gouvernement concernant la participation du secteur privé dans le développement de l'industrie électrique. Ils définissent aussi les règles de participation.
1994	"Corporation" de la PLN: Elle a acquis le statut Ltd, elle relève ainsi droit commercial (PLN Ltd).

Source: PLN[1995].



## **CHAPITRE 5**

### **PROPOSITION UN MODÈLE D'AIDE A LA SELECTION DES PROJETS : UN CAS DE PROJET ELECTRIQUE**

Nous avons tracé dans les chapitres précédents, une présentation panoramique et une analyse des principales méthodes et modèles concernant à l'évaluation des projets, à l'aide à la décision et également aux problématiques du développement de secteur énergétiques Indonésien en général. Nous passons maintenant à la proposition de la construction d'un modèle d'aide à la sélection des projets.

Sur la base des principes existants des méthodes et des modèles, nous allons construire un modèle qui a été d'intégrer de façon cohérence l'ensemble dans le processus global.

Le but essentiel de ce chapitre est de développer l'un modèle multicritère de sélection des projets avec quelle on cherche les solutions où nous pouvons atteindre d'ensemble objectif poursuivis multiples conflictuels, associe à la satisfaction de besoin de la demande en puissance et en énergie électrique tant que' en respectent les contraintes du projet. Seule de la méthode multicritère de l'AHP et la programmation mathématique à objectifs multiples du Goal Programming feront l'objet et seront utilisée dans notre étude.

#### **5.1 MODÈLE DE SELECTION DES PROJETS**

##### **5.1.1 TERMINOLOGIE ET DEFINITION DES CONCEPTS**

Pour effectuer le choix parmi les différents projets électrique qui sont proposés, le décideur doit posséder plusieurs axes d'évaluation. Ca sera, à notre cas de projet électrique, par exemple, le coût de production et d'investissement, le taux de rentabilité interne, l'impact sur l'environnement, la technologie etc. Ces axes d'évaluation sont des attributs des sélection, raison pour laquelle on les appellera "attributs". Si nous ajoutons aux attributs un minimum d'information relative aux préférences du décideur, les attributs deviennent des critères.

Avant d'aborder les méthodes multiobjectifs et les multicritères pour notre modélisation, il est nécessaire de définir quelques termes communément utilisés. Ces

concepts aussi domineront les différentes étapes de notre modélisation se résument aux suivant: objectifs, attributs, goals/buts, critères et contraintes. Certains termes traditionnellement synonymes se distinguent quelque peu dans le contexte de la prise de décision.

- **Attributs:**

Les attributs sont des caractéristiques pour décrire un objet. Ils peuvent être de nature objective (ex. Le coût de l'investissement du projet), ou subjective (ex. la transfère de technologie).

- **Objectifs :**

Ce sont des aspirations qui peuvent aussi indiquer les direction d'amélioration des attributs retenus. Un exemple d'objectif vise par la selection d'un projet d'électrique est la *minimisation* des coûts. Il y a seulement deux directions: plus ou moins i.e. *maximiser* ou *minimiser*. Les objectifs sont représentés par des fonctions mathématiques de variables de décision et donc les deux formes de fonction objectives sont:

$$\text{Maximiser } f(x) \text{ ou Minimiser } f(x)$$

- **Buts ou Goals:**

Les buts représentent les aspirations par rapport à des niveaux d'attributs désirés, en terme d'état spécifique dans l'espace et le temps. Par exemple, le décideur pourrait avoir comme but de choisir le projet dont le coût total ne dépasse pas de 100 millions de dollar par 3 ans. On attribue à leur niveau de performance un minimum acceptable ou une valeur cible à atteindre. Un but est une fonction mathématique de variables de décision laquelle représente la combinaison d'un objectif avec une valeur cible. La forme mathématique d'un but est:

$$f(x) \leq b \quad \text{ou} \quad f(x) \geq b \quad \text{ou} \quad f(x) = b$$

Un but a la même apparence en terme de formulation mathématique, qu'une contrainte. Cependant une différence entre les deux notions existe puisque le concept de fonction but implique plus de flexibilité et moins de rigidité que le concept de fonction contrainte.

- **Contraintes:**

Ce sont les conditions que le décideur doit respecter lors de sélection des projets. Par exemple, le développement d'une centrale d'électricité sur un système du réseau électrique doit passer le minimum demande en puissance pour 3 ans suivants. En d'autres termes, il faut que son installation ait été prévue au départ etc.

- **Critères:**

Les critères sont les mesures, règles, standards ou normes qui orienter le décideur. Tous les attributs, objectifs ou buts qui ont été jugés pertinents dans une décision sont des critères. Autrement dits, un critère exprime plus ou moins précisément les préférences du décideur relativement à un attribut donné

### 5.1.2 IMPORTANCE DU MODELE MULTICRITERES ET MULTIOBJECTIFS

La sélection d'un développement des projets central électrique est habituellement fort complexe en raison de la grande diversité et de la multiplicité des critères dont il faut tenir compte. Lorsque nous le voulons comparer plusieurs projets proposés entre eux en se basant uniquement sur des facteurs tangibles, on peut appliquer les méthodes d'évaluation économique ou financière telle que valeur actuelle nette, taux rendement interne, ratio coût du bénéfice etc., puis choisir le moins coûteux. La principale difficulté est d'obtenir de bon estimés car il faut prévoir les coûts à venir et non pas ceux qui sont en vigueur au moment de l'étude. Mais l'introduction des facteurs intangibles, difficile à quantifier, vient compliquer grandement le choix du meilleur projet.

Afin de permettre de mener bien aux décideurs pour construire de proposition de décision, il est nécessaire de créer un modèle permettant de considérer simultanément les facteurs tangibles et intangibles. C'est le modèle mathématique de multicritère et multiobjectif comme le modèle formel de notre instrument de l'aide à la décision.

Fréquemment, le modèle sélection des projets publics développés dans les travaux antérieurs (MOHANTY[1992], CHERVEL[1995], BARAKA[1992], MUKHERJEE et BERA[1995], MARTINO [1996], et aussi ETTINGER [1995] etc.) ne portaient que sur la résolution du problème de choix. Des considération liées à la dimension nonquantifiable telles que la localisation, l'impact sur l'environnement et sociale, la problème du transfert technologique etc. n'étaient pas pris en compte

Quant au projet électrique, une littérature abondante (TURVEY et ANDERSON.[1977], MUNASINGHE [1989], WANG et MCDONALD[1994], ZUHAL [1995] et KHATIB [1996]) a été consacrée aux méthodes de l'évaluation. Certaines des méthodes que nous allons partiellement utiliser ne s'appliquent qu'à l'entreprise privée :

- soit parce qu'elles ne tiennent pas comptes des critères financiers et économique traditionnels.
- soit parce que leur formulation ne permet de prendre en compte qu'une seule objective considération.
- soit parce qu'on ne considère pas la variable externe relative à l'environnement (les variables sociales, écologiques, ressources humaines, disponibilité des ressources énergétiques à long terme et les variables stratégiques de technologiques).

En fait, la stratégie et la politique nationale dans le secteur énergétique notamment aux pays en voies développements sans exception en Indonésie par exemple, est basée sur le axes d'objectives de développement globale comme les suivants ([BKEN, 1991], [PLN, 1994], [MUNASINGHE 1998 et 1992]).

- relancer la croissante économique
- promouvoir l'emploi
- équilibrer les comptes extérieurs de la Nation
- valoriser les ressources humaines par la formation
- améliorer le niveau de vie des couches sociales les plus défavorisées
- encourager les exportations
- intégrer la manufacture industrielle

La concrétisation de ces objectifs nécessite un choix adéquat de projets. C'est dans cette optique que nous allons définir une famille cohérente de critères qui servira à évaluer et à sélectionner les projets sous l'angle de la collectivité nationale.

Le responsable du gouvernement ou le décideur veut atteindre plus d'un objectif tout en satisfaisant les contraintes dictées par l'environnement (variables externes) et des disponibilité des ressources locales. Donc on a besoin d'optimiser de problème multiobjectifs.

Il s'agit de construire les critères qui permettront d'appréhender les conséquences de l'insertion des projets d'électricité dans le développement national. Or, la réalisation et le fonctionnement des projets provoquent de nombreux effets de nature différentes.

Il apparaît donc que les conséquences des choix de projets d'investissement électriques sont multiples, enchevêtrés et parfois difficile à formaliser. Aussi, bâtir des critères d'évaluation et de jugement des projets revient à déduire de l'analyse des nuages de conséquences élémentaires des projets, les dimensions caractéristiques sur lesquelles devront se fonder les préférences des décideurs.

La nature des projets influence le choix des dimensions dont il faudrait tenir compte pour juger les projets possibles. En effet, selon la nature des projets, l'analyse devra mettre l'accent sur certains effets particuliers et donc appliquer une procédure d'analyse et de jugement différente.

Pour appréhender les effets macro des projets, l'analyse doit être conduite du point de vue de la collectivité. Auquel cas le projet électrique Indonésien pour collectivité constitue l'acteur principal du processus de décision visant la sélection des projets électriques de PLN qui est donné mandat par l'état pour la mission de concourir au développement économique et social du pays.

Donc, l'approche d'aide à la décision multicritère et multiobjectifs proposés d'ici devrais chercher les points importants et significatifs car:

- Elle essaie d'inclure dans ses modèles formels les aspects subjectifs des modèles mentaux traditionnellement employés dans la prise de décision.
- Elle facilite l'emploi de l'information qualitative, et la possibilité de communication entre l'homme d'étude, les experts du système et aussi les décideurs augmentant ainsi la quantité d'informations disponibles
- Elle essaie de donner une forme opératoire au modèle de l'acteur ou de celui qui doit construire des scénarios et étudier les conséquences de ses décisions et également essaie de trouver une solution optimale.

### 5.1.3 JUSTIFICATION DE LA METHODE D'AIDE A LA DECISION UTILISEE

La sélection d'une méthode multicritère et multiobjectifs pour traiter un problème particulier est elle-même un problème de décision multicritères et multiobjectifs qui n'a pas de solution évidente [AL-SHEMMERI et al, 1997].

Opter pour une méthode plutôt que pour une autre est souvent fait de façon arbitraire, faute de présence de règles standards. GOMES[1991] a tenté de définir un certain nombre de critères pour sélectionner une méthode multicritères d'aide à la décision. Ces derniers peuvent être résumés dans les points suivants:

- la méthode doit être en mesure de prendre en compte aussi bien les facteurs quantitatifs que qualitatifs
- la méthode ne doit pas faire l'objet d'inversion des rangs des classements
- les critères d'évaluation doivent être indépendants
- l'évaluation de stratégies distinctes requérant des jugements évalués doit se faire par l'utilisation d'échelles ordinales ou cardinales
- les interdépendances entre les solutions alternatives potentiels doivent être prises en compte analytiquement
- les ressources des analyses de sensibilité doivent être incorporées dans les programmes informatiques interactifs pour permettre l'utilisation de façon flexible de la méthode.

## **5.2 NECESSITE D'INTEGRATION DE LA METHODE AHP ET DU MODELE GOAL PROGRAMMING**

Notre choix d'utilisation de méthodes AHP s'est fondée sur plusieurs exigences: simplicité de la méthode, rapidité de mise en œuvre et concordance avec la démarche sélection de projets stratégiques. En plus, un grand nombre d'avantages offerts par cette méthode discutée dans le chapitre précédant et aussi par les experts ( MERUNKA [1989], SAATY, [1994], RAMANATHAN et GANESH [1994], FORMAN et PENIWATI [ 1998]) nous indique:

- Elle est simple à mettre en œuvre, l'échelle de comparaison des éléments est facile à utiliser.
- Elle respecte un mode de pensée courant et simple qui consiste à comparer directement les éléments de décision deux à deux sur une performance donnée.
- Elle permet de saisir la complexité du problème en étudiant tous les éléments identifiés lors de la construction de la décomposition hiérarchique : objectif, critère, sous critères et activités.
- Elle permet d'enregistrer les jugements réels des décideurs qui sont une résultante de nombreux phénomènes: les faits objectifs, les expériences, les préférences, la politique général de l'organisme etc.
- Cette quantification permet à chacun des décideurs concernés par le problème de s'exprimer individuellement, de préférence et en toute indépendance par rapport aux décideurs en équipe.



Or, les autres méthodes multicritères : PROMETHES, MAUT et ELECTRE qui sont moins préférées ici sont assez lourdes à mettre en œuvre. Aussi, elles n'offrent pas de méthodes spécifiques pour collecter les jugements et ne contrôlent pas la cohérence des données fournies par les décideurs ou les experts. Ces modèles permettent de ranger des alternatives pour sélectionner la meilleure, mais ne fournissent pas une évaluation globale des alternatives mesurées sur une échelle de proportion ce qui est essentiel pour la solution de notre modèle d'aide à la décision.

KO et al. [1994] aussi ont constaté que la méthode AHP est plus favorable comme la méthode multicritère par rapport de méthodes ELECTRE I/II, et du méthodes "*Compromise Programming*".

Cependant, la méthode AHP lui-même ne permet que de juger le priorité relative, en plus il existe des limites et des désavantages pour l'utilisation méthode AHP au cas de la selection de projet, que DEAN et SCHNIEDERJANS [1991], ont constaté :

*"..... la méthode AHP ne peut pas être utilisé pour les problèmes d'allocation de ressources. Elle ne considère pas explicitement les contraintes différentes sous jacentes au processus d'allocation de ressources...."*

Ce limite exposés nous a donné l'une inspiration d'élaborer dans cette étude de l'intégration de la méthode AHP avec le modèle d'optimisation à but multiples pour la selection d'un projet.

Quant à notre cas, nous avons choisi plutôt le modèle Goal Programming que les autres méthodes d'optimalisation multiobjectifs, car :

- Il a été appliquée plus fréquemment par des décideurs par rapport aux autres techniques de méthodes multiobejectif
- Il est moins subjective que les autres méthodes telles que la théorie d'utilité
- Parmi des techniques d'optimalisation basée sur la programmation linéaire, le modèle Goal Programming offre une procédure plutôt directe pour attribuer les poids aux objectifs différents [TAMIZ, 1998]

Le même approche d'un intégration de la méthode AHP et du modèle Goal Programming a été proposée à concevoir d'un modèle d'optimisation de la gestion de l'environnement de la pollution de l'eau [CIPTOMULYONO,1998].

A cet égard, la recherche concernée a intégré la méthode AHP avec d'autres méthodes telles que le Delphi technique décrit par KHORRAMSHAHGOL et.al. [ 1988] et par CIPTOMULYONO [1999], la méthode Promethée [MARTEL et AOUNI, 1990],

l'analyse conjoint [O'LEARY, 1986], le "Fuzzy Goal Programming" [CIPTOMULYONO, 1999].

Cependant, il est important de noter que beaucoup de littérature a apporté plusieurs critiques au modèle du Goal Programming [HANNAN, 1985], ROMERO [1991] et TAMIZ et.al [1998], ils offrent une discussion détaillée de beaucoup de problèmes critiques associés avec le modèle Goal Programming. Une majorité des critiques sur le modèle de Goal Programming a rapport à l'affectation du poids, de la normalisation et des buts de fixation des variables de déviations.

Goal Programming aussi souffre encore d'un autre défaut: il ne peut pas manipuler des critères qualitatifs à moins qu'ils soient quantitativement représentés sous forme d'une contrainte d'objectif. Cependant, ce défaut peut être surmonté si le modèle du Goal Programming est combiné avec des techniques portantes convenables.

La programmation mathématique à objectif multiples du Goal Programming et méthode AHP employée dans notre travail sont considérées comme les techniques les plus proéminentes actuellement pour réaliser l'emploi de la méthode multicritères pour sélectionner des projets. A notre avis, néanmoins, les avantages et désavantages des deux techniques sont seulement complémentaires. Donc, une combinaison correcte des méthodologies peut efficacement manipuler les deux critères qualitatifs et quantitatifs.

Ainsi, le modèle intégré a le potentiel de prolonger l'applicabilité du "Goal Programming" aux problèmes impliquant des critères qualitatifs, et, en même temps, réduisant la charge des jugements des décideurs dans la méthode AHP. En plus, la AHP a été employée dans notre modèle pour définir les poids qui doivent être attribués aux divers objectifs.

### **5.3 DESCRIPTION DU MODELE PROPOSE**

Pour compléter notre vision d'aide à la décision développée, nous présenterons dans cette section une brève description des différentes étapes utilisées pour la sélection du projet.

En fait, notre démarche de modèle d'aide à la décision est essentiellement partagée pour utiliser deux approches différentes:

### • **L'approche multicritère de la méthode AHP :**

Cette approche a pour but transformer les critères qualitatifs de sélection des projets, à partir du jugement des répondants (les experts, les responsables et les décideurs de projet) à une échelle numérique de priorité avec certaines valeurs de pondération relatives.

Ceci nous permet d'utiliser le modèle mental fruit d'expériences passées et des impressions intuitives des décideurs ou des experts en face la vision stratégique.

La méthode AHP peut nous aider à prendre des décisions multicritères par la décomposition hiérarchique qui a pour but d'identifier dans un premier temps un petit nombre des éléments de la décision (objectifs, critères, sous-critères, actions).

Pour ce faire, on cherchera simplement à le décomposer en éléments simples. Dans un problème complexe de sélection des projets, afin d'évaluer adéquatement un projet et le gérer efficacement nous allons utiliser un raisonnement analytique avec une "vision systémique" qui consiste à décomposer ses objectifs, ses critères et les sous-critères qui conditionnent directement la résolution du problème. La méthode consiste ici à décomposer le problème de sélection de manière hiérarchique.

La décomposition hiérarchique nous aide à identifier et expliciter l'objectif, les critères et les sous-critères de sélection des projets. Cette étape favorise la réflexion, la structuration de la pensée et la créativité.

### • **L'approche programmation mathématique à objectif multiples du Goal Programming**

Cette approche a pour but de résoudre le problème d'optimisation correspondants i.e., à partir de données de priorités, les pondérations relatives d'objectifs, en satisfaisant des objectifs et en respectant les contraintes du projet.

Comme nous l'avons décrit, les deux méthodes du Goal programming et la méthode multicritère de l'AHP ont des limitations quand elles sont individuellement appliquées aux problèmes d'allocation de ressources. Cependant, les avantages et désavantages des deux techniques sont seulement complémentaires. Donc, en intégrant des méthodologies on peut réduire efficacement ces désavantages. Nous voulons montrer que le rapprochement des deux méthodes permettrait à chacune d'elles de s'enrichir des outils et méthodologies spécifiques à leur développement.

Comme noté précédemment, le modèle intégré exploite les capacités de méthode du Goal Programming en optimisation des objectifs multiples et l'AHP en traitant des critères qualitatifs, c'est fait:

- en employant les critères quantitatifs directement dans le modèle GP
- en dérivant les priorités de l'AHP pour les critères qualitatifs des éléments de décisions après avoir obtenu les jugements des répondants.
- en employant les priorités de l'AHP comme coefficients des variables de décision dans les fonctions objectives correspondantes du modèle Goal Programming.

Le fait de travailler en groupe est plus riche dans la mesure où une discussion et une certaine divergence de point de vue mènent à une meilleure créativité et à une représentation plus complète de la décomposition du problème. C'est également plus compliqué car il faut aboutir à une décomposition unique qui rassemble tous les points de vue.

Lorsque plusieurs individus appartenant dans un groupe de répondants expriment des préférences ou des évaluations différentes le groupe doit aboutir à une préférence ou à une évaluation unique, il est nécessaire d'utiliser des procédures d'agrégation des données individuelles. A notre cas, chaque membre ensembles des répondants qui sont experts et elles/ils sont choisis à évaluer les préférences uniques selon ses compétences. Autrement, s'il n'y a pas des compétences en pertinence, nous considérons d'utiliser la méthode de consensus.

Il apparaît donc que les conséquences du développement des projets électriques sont multiples, enchevêtrées et parfois difficiles à formaliser. Aussi, bâtir des critères d'évaluation et de jugement des projets revient à déduire de l'analyse du nuage de conséquences élémentaire des projets, les dimensions caractéristiques sur lesquelles devront se fonder les préférences des répondants et les objectifs qu'il cherche à atteindre.

### 5.3.1 STRUCTURE DU CADRE METHODOLOGIQUE ET DU MODELE PROPOSE

Le figure 5.1 suivante présente la schématisation du modèle proposé à l'aide de sélection de projets de type projet électrique Indonésien. Nous pouvons y voir les relations pouvant exister entre chacune des activités d'une étape, ainsi que les interrelations entre les différentes étapes de la sélection du projet et entre leurs activités respectives.

La première étape de construire du modèle consiste à concevoir les objectifs pertinents ou les critères d'évaluation sélectionnés en respectant à la politique stratégique de l'énergie nationale.

Cette analyse nous permet de composer le problème du développement des projets électrique en tâches plus simple c'est-à-dire:

- d'identifier les éléments de décision: les critères, le sous critères et les variables qui sont appliquées à l'évaluation des projets.
- d'identifier parmi les critères ou sous critères envisageables ceux qui devront être mise en oeuvre en priorité.
- d'effectuer une quantification et une fixation sur les critères, les objectifs et sous critères envisageables dans le processus de décision.

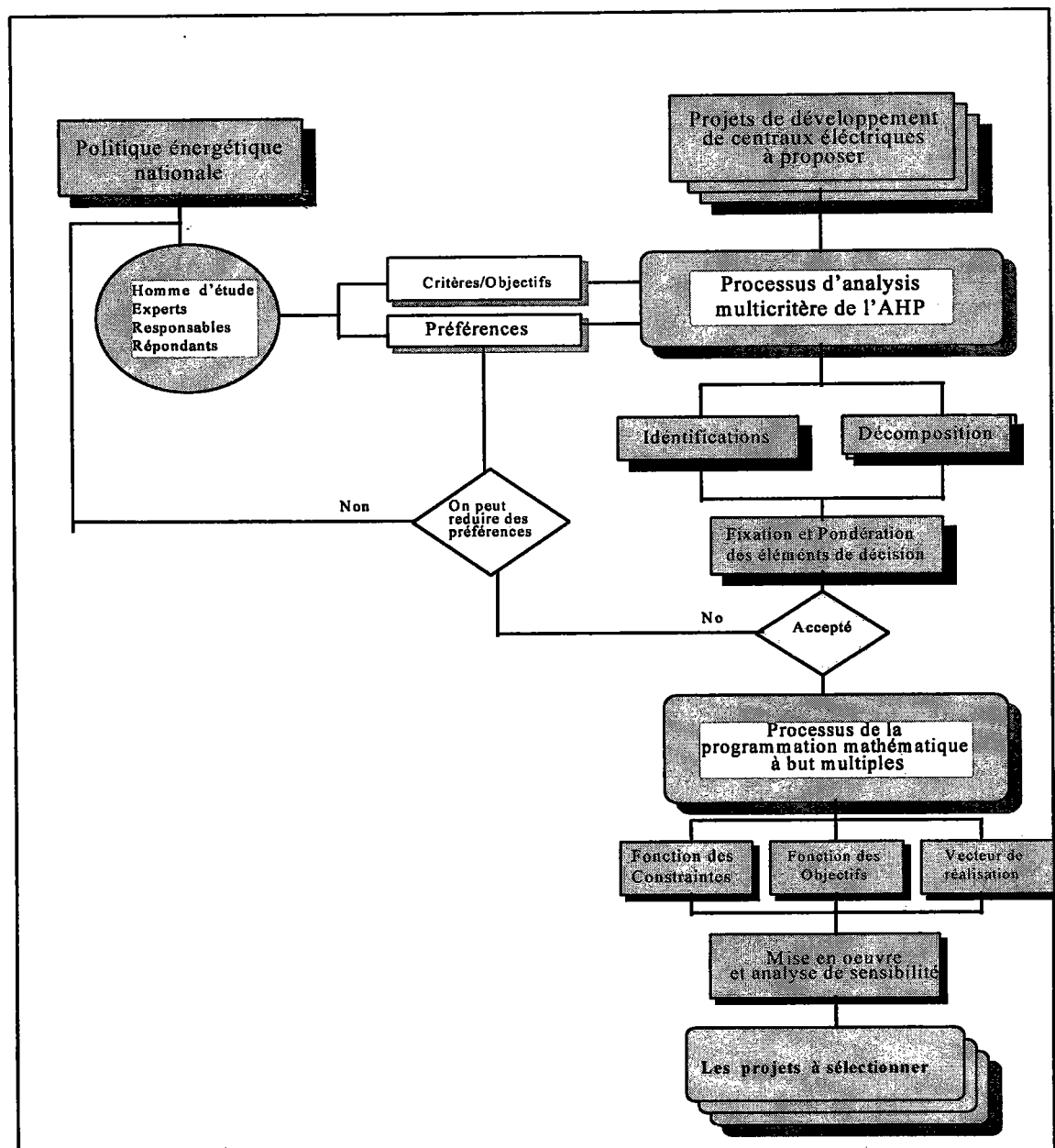


Figure 5.1 Procédure général du modèle d'aide à la sélection des projets proposés

Une fois que l'ensemble des pondération des critères qualitatifs et l'intensité des préférences obtenus par de l'approche de l'AHP, une proposition de processus d'optimisation multiobjectifs peut être préparée. Pour cela, nous aborderons :

- Le modèle de programmation mathématique à buts multiple du Goal Programming 0-1 qui constitue de ses fonctions d'objectifs et les contraintes pertinentes.
- Les jugements des critères de décision retenus qui sont transformés comme les poids du modèle multiobjectif formulé. Ils s'ont fonctionnés d'être paramètres des variables déviations dans la fonction du vecteur de la réalisation.
- L'analyse de la sensibilité du modèle qui nous permet d'avoir la validation de celui-ci avant sa mise en œuvre.

#### **5.3.1.1 Décomposition des éléments de la décision**

Dans un problème complexe comme dans la selection des projets, afin d'évaluer adéquatement un critère d'un projet et le gérer efficacement, nous préférons utiliser pour ce travail un raisonnement analytique qui décompose hiérarhiement un problème complexe en objectifs, en critères et ses sous-criters et effectuer l'approche systemique, ce que MISER et QUADE [1995] ont baptisé comme "vision systémique".

La décomposition hierarchique convenable constitue les critères et les sous critères de sélection du projet. Ceci nous a facilité le processus de comparaisons directement en élément de décision à tous les niveaux hierarchiques qui sont exigé dans l'utilisation de cette approche.

L'approche de l'AHP peut nous aider à prendre des décisions multicritères par la décomposition hiérarchique qui a pour but d'identifier dans un premier temps un petit nombre d'éléments de la décision (objectif, critères, sous critères , actions). Il n'existe pas de structure hierarchique générale, ni de règles rigides pour construire une décomposition hiérarchique [SAATY, 1984].



### 5.3.1.2 Identification et fixation des critères de décision

#### a Identification des critères

L'identification des critères est une étape très importante et peut s'avérer fort difficile.

La première étape, nous établissons une liste "brute" de critères potentiels qui pourraient prendre la forme d'objectif visés. Cette liste a été dérivé de la politique énergétique nationale et établie par les répondants (un groupe d'experts désignés) aussi les responsables pertinences.

La second étape, on réduire la cette longue liste des critères à un nombre minimum. Le tamisage peut se faire à l'aide des conditions que doit satisfaire la famille des critères. KEENEY et RAIFFA [1976] assignent cinq conditions i.e.:

- Elle doit être exhaustive ("*complexe*") :

Le critère est adéquat dans sa façon de représenter le degré de satisfaction de l'objectif global. C'est pourquoi, la liste de critères retenus doit couvrir les aspect importants du problème traité.

- Elle doit être opérationnelle :

Les critères doivent être assez significatifs pour le décideur pour qu'ils lui permettent de comprendre les implication sur les alternatives. Cette condition peut être réaliser en hiérarchisant le problème complexe de façon à obtenir des sous-critères quantifiables ou facilement remplaçables par des éléments quantifiables.

- Elle doit être décomposable:

Cette condition indique que la famille des critères peut être partitionnée en de plus petits dimension pour faciliter son utilisation dans le processus de décision.

- Elle doit être non-redondante :

Les critères ne doit pas contenir des éléments d'information redondants. Ces critères doivent être définis pour éviter les dédoublement dans les impact sur l'objectif global. Cette condition interdit la présence de critère superflus.

- Elle doit être minimale :

La minimale c'est-à-dire réduite au plus petit nombre possible de critères. Cette condition peut être réalisée en agrégeant des critères.

Le nombre de critères à utiliser pour effectuer la sélection des projets devrait se situer entre 8 et 15, selon KIDD et.al [1990] alors que SAATY [1984] estime que ce nombre ne devrait pas dépasser 7 pour chaque hiérarchie. Ceci reflète l'attitude négative du décideur face au nombre de critères jugé souvent excessif.

En ce qui concerne à notre model, il s'agit de construire les critères qui permettront d'appréhender les conséquences de l'insertion des projets d'électricité dans le développement national . Or, la réalisation et le fonctionnement des projets provoquent de nombreux effets de nature différente.

## **b Fixation des critères**

Avant de fixer les critères retenus pour l'évaluation du projet proposé, il est nécessaire pour nous d'avoir une connaissance exacte et totale des objectifs à long terme et des contraintes auxquelles celle-ci soumet au entreprise où nous y allons analyser.

Quant à notre cas c'est la compagnie national d'électricité PLN de l'Indonésie. Les objectifs à long terme devraient concerner en priorité les effets indirects de l'activité de l'entreprise d'Etat et croissance de l'économie et du développement national. Ainsi, ces objectifs doivent traduire une vision à long terme de l'Entreprise.[PLN, 1995] qui est conduit par le Ministère de la Mines et Énergies, le Bureau de Planification du Développement National (BAPPENAS) et aussi par les autres ses auxtionaires

D'autres objectifs à long termes définies par l'état pourraient porter sur les critères avec lesquelles un projet proposé est jugé ou évalué [BKEN, 1995, BAPPENAS, 1995].

Nous avons établi la liste suivante ci-dessous des critères et des sous-critères retenus à partir de la politique nationale d'énergie, des suggestions de différents acteurs du processus de décision en secteur énergétique et électrique industrielle, des experts, des membres de l'ONG, et des universitaires en même temps que la consultation de nombreuse références. La définition en détaillée pour de tels critères et ses sous-critère retenus pour l'évaluation des projets sera effectué en chapitre 6.1

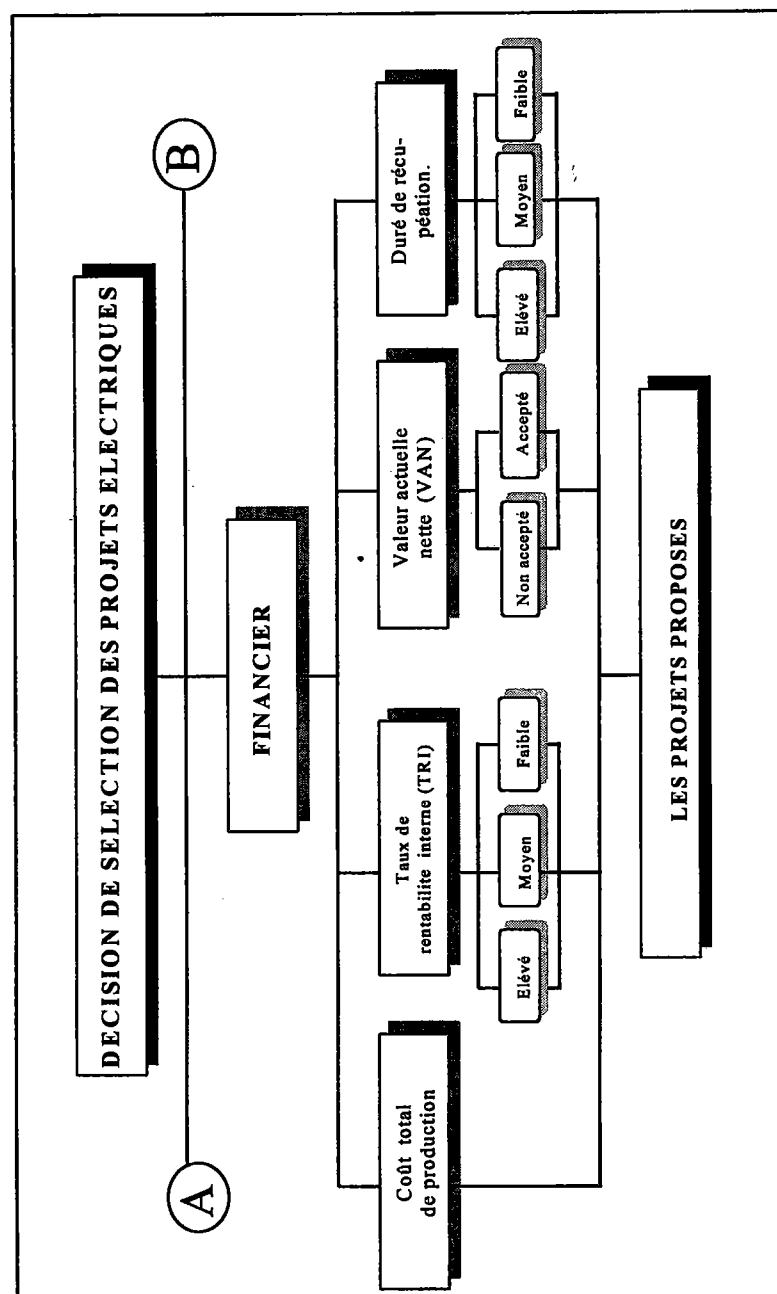
Le résultat de la decomposition hiérarchique pour la selection des projets envisagés est résumé comme suit :

• Focus (But)	: Sélection des projet électriques proposés
• Critères	: Financiers, Economiques, Disponibilité des ressources energetiques, Impact sur l'environnement et Stratégie.
• Sous -critères	: Chaque critère a été décomposé en sous-criters correspondants
• L'intensités dessous critères	: Chaque sous-critères est donné l'évaluation de l'intensité par- exemple: très bonne, moyenne, importante, élevée, faible etc.

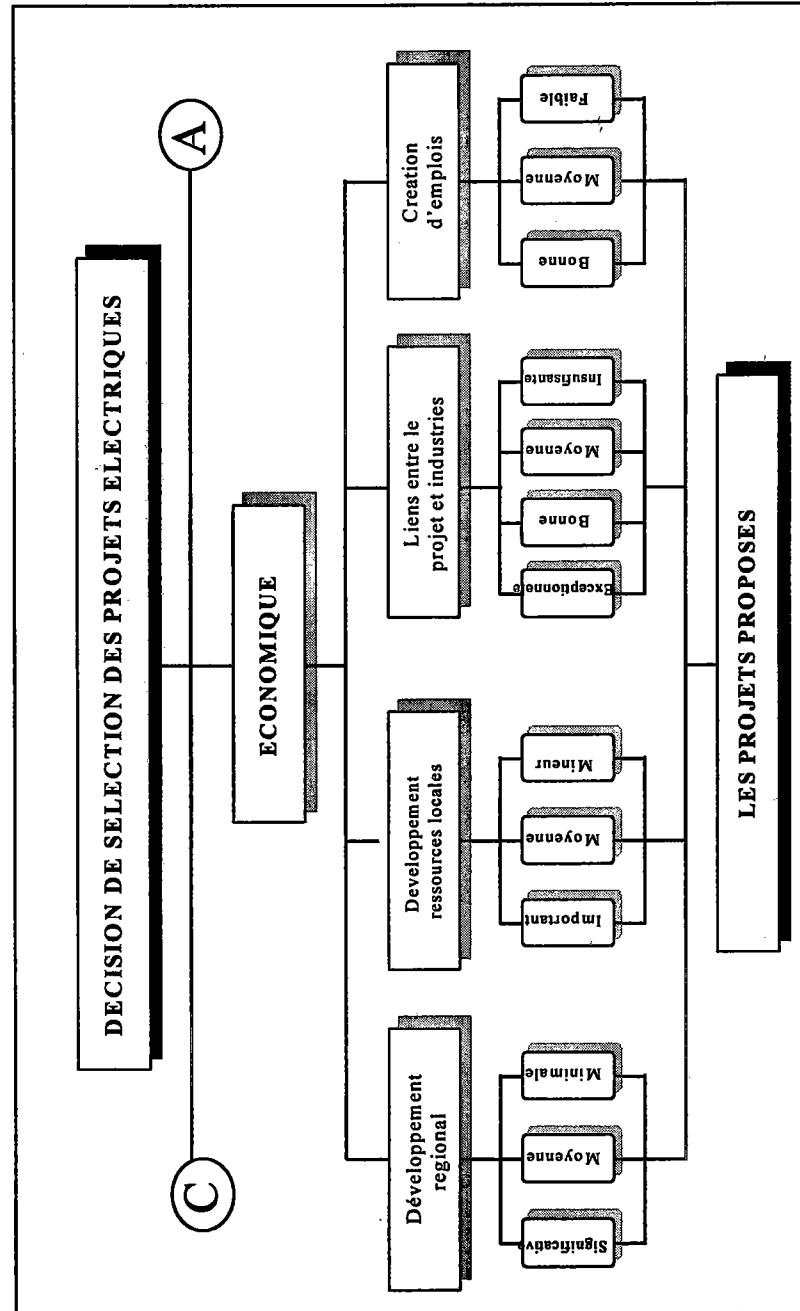
En effet, ces critères sont retenus par des groupes de répondants qui ressemblent différents départements fonctionnels et intérêts. Ces répondants ont reconnu la pertinence et l'exhaustivité de la famille des critères.

Enfin, basée sur les considérations mentionnées, les critères à prendre en compte pourraient être les suivants (schématisé hiérarchiquement par la figure 5.2 à la figure 5.5). Pour présenter cette famille de la hiérarchie qui se compose en vingt cinq sous-critères, nous avons regroupé ces derniers en cinq catégories principales et en vingt un classes d'intensité des sous-critères.

Les critères retenus mentionnés et qui , selon d'avis des répondants consultés, sont une concrétisation de ces objectifs nécessitent un choix adéquat de l'évaluation et de la selection des projets représentent la vision d'entrepris d'Etat électrique en Indonésie et qui a pour mission de concourir au développement économique et social du pays, C'est dans cette optique et sous l'angle de la collectivité nationale que nous avons définir une famille cohérente des critères et des objectifs.



**Figure 5.2** Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques



**Figure 5.3** Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite 1)

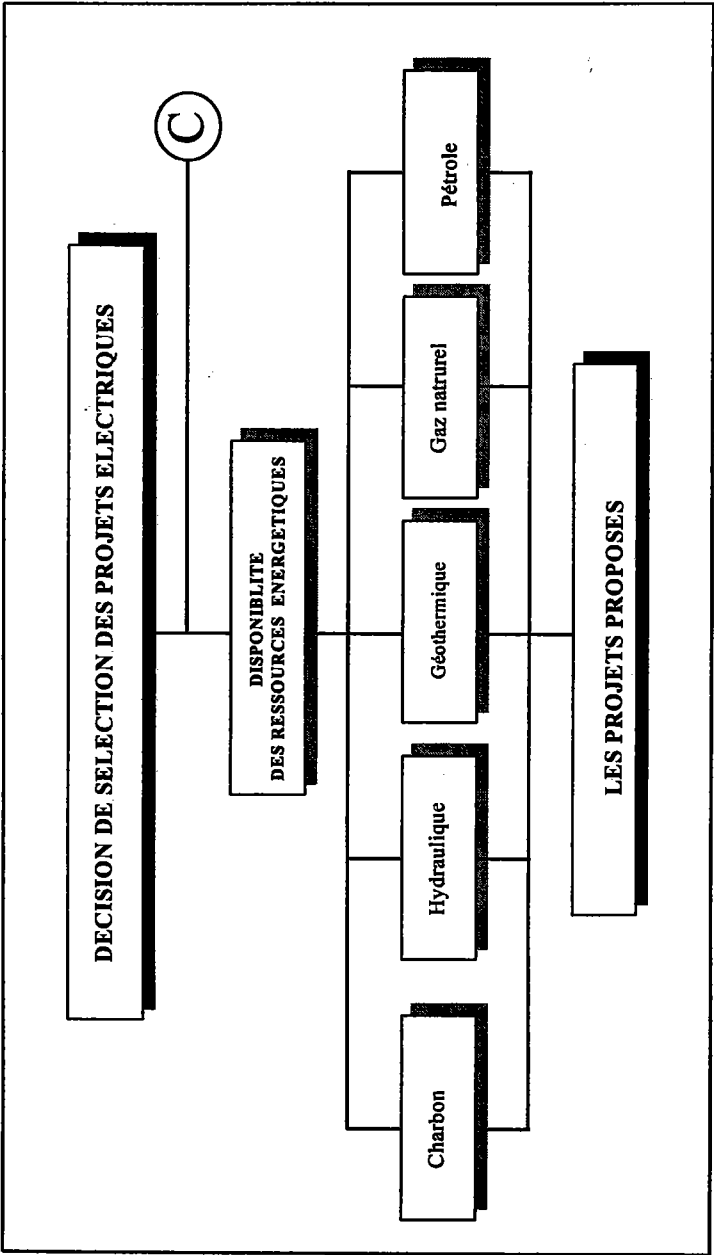
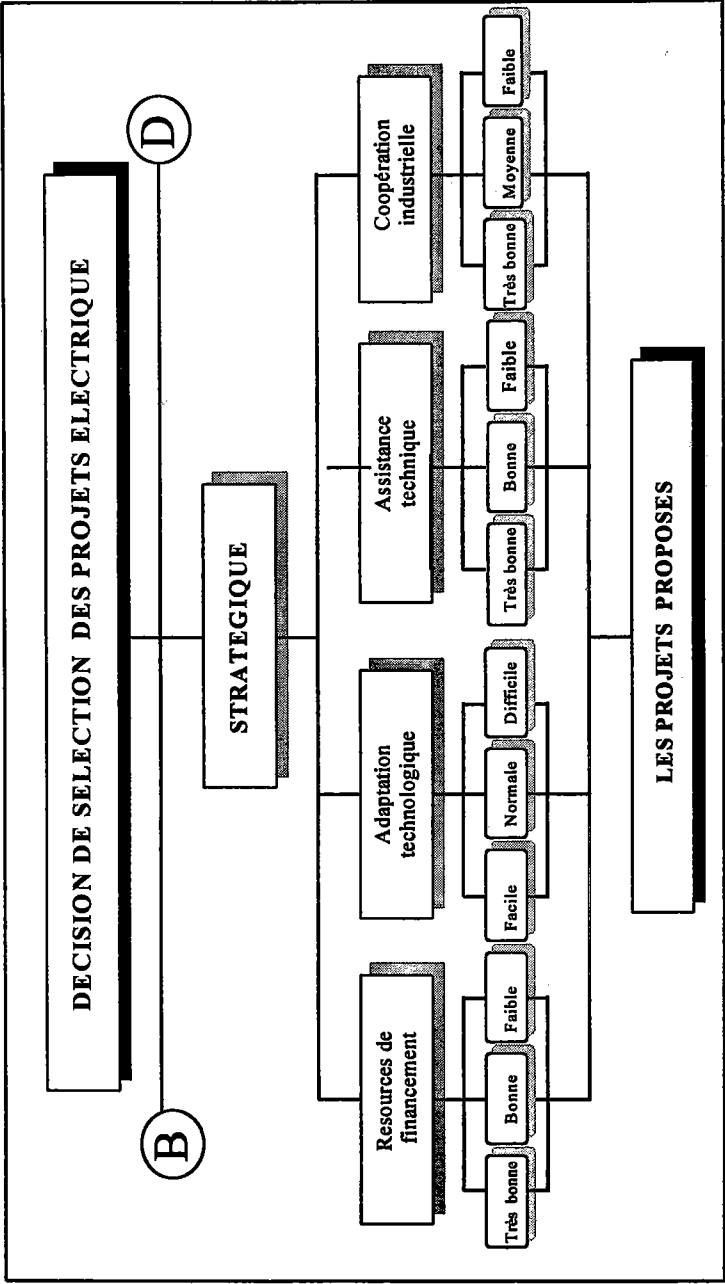
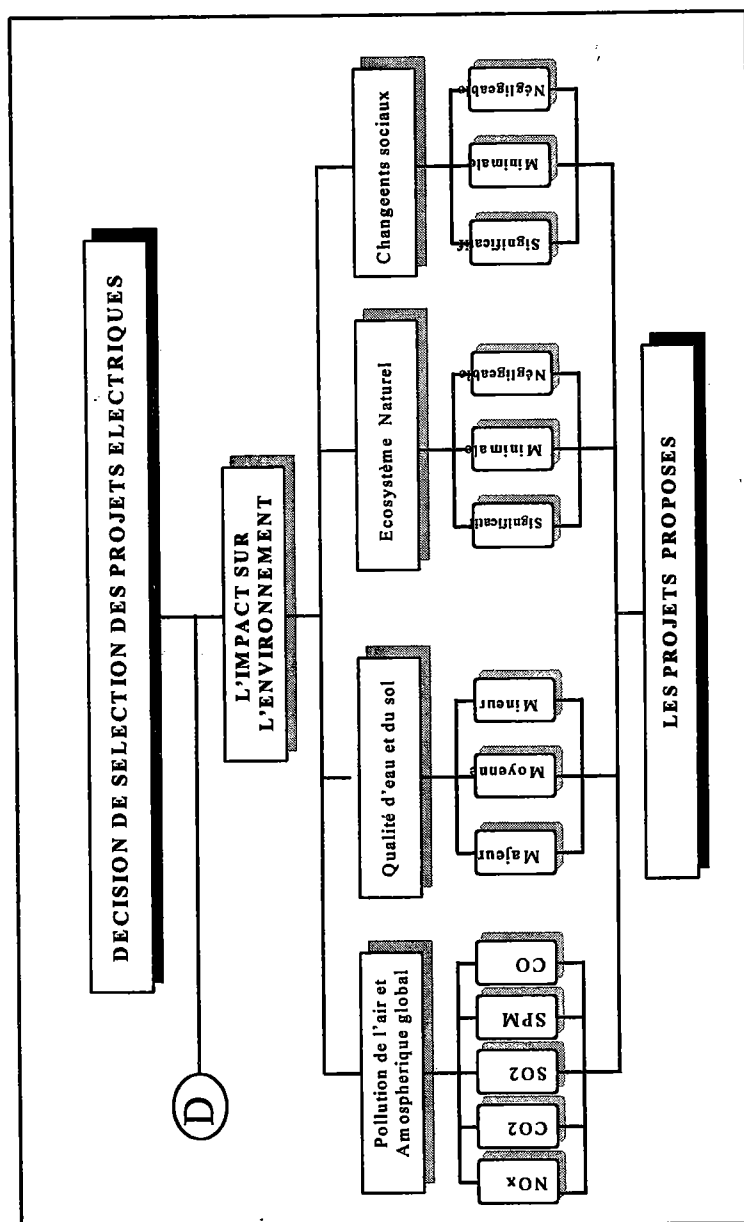


Figure 5.4 Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite 2)





**Figure 5.5** Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision  
du développement des projets électriques (suite 3)



**Figure 5.6** Décomposition hiérarchique des critères et des éléments de décision du développement des projets électriques (suite 4)

### c Pondération des critères

Une fois que l'ensemble des critères est défini, la prochaine étape consiste à leur affecter des poids pour désigner leur importance relative dans la prise de décision.

Dans la plupart des méthodes multicritères, l'importance relative des critères est représentée par des poids numériques. Ceci soulève le problème de détermination de ces poids et la traduction en termes quantitatifs la notion qualitative d'importances des critères.

Quant à notre étude, les décideurs représentés par les répondants devront fournir leurs jugements sur les éléments ou les critères qui leur paraissent les plus importants. Les évaluations qui sont demandées à l'ensemble des répondants concernés par le projet sélectionné sont structurées de manière à minimiser les risques d'erreurs.

La méthode AHP permet de calculer de manière formelle l'importance relative ou les préférences des éléments de décision (les critères et sous critères) à mettre en œuvre. Ceci permet d'identifier les priorités des critères et sous critères pour contribuer à la résolution de la sélection des projets. On obtient alors un vecteur  $w_j$  mesurant l'importance relative de chacun d'objectif- $j$  à la sélection des meilleurs projets. Elles vont apparaître plus clairement au Chapitre 6 où l'on traitera les pondérations de l'importance relative des sous-critères.

Afin d'évaluer les critères fournis pour notre travail, nous considérons la méthode de consensus qui pourra être mise en œuvre facilement dans le cadre de l'application de la méthode AHP, s'il n'y a pas les jugements des experts compétents.

Les principales étapes de sa mise en œuvre de la méthode pour tirer des préférences de décision comprennent i.e. : (i) la présentation de la méthode; (ii) la quantification individuelle au niveau du groupe de répondants; (iii) la vérification des résultats.

La cohérence des jugements fournis est également contrôlée de manière analytique et dialogique interactif par le système de support de la décision informatique de "Expert Choice" de l'AHP.

Une fois que les priorités pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminés (Voir la figure 5.2 à la figure 5.5), les évaluateurs ou les répondants (c/o, les experts, les responsables des projets etc.) ont été demandés à évaluer des projets proposés par rapport à chaque critère correspondants. On obtient alors un vecteur  $C_{ij}$  qui indique l'impact de la pondération du sous-critère/objectif concerné  $j$  sur chacun des projets  $i$ . Ce vecteur représente le poids important relatif associé au  $j^{\text{ième}}$  objectifs/critère noncommensurable des projets  $i$  d'où l'aspect cardinal de l'information à donner par le décideur pour notre modèle aide à la sélection. Ce vecteur s'est converti à paramètre de fonction d'objectif du modèle

Goal Programming développé sur le quelle nous allons utiliser pour optimiser la sélection des projets.

### 5.3.2 FORMULATION DU MODELE GOAL PROGRAMMING 0-1 POUR L'OPTIMALISATION DE SELECTION DES PROJETS

Le modèle sur lequel nous nous basons pour générer nos solutions optimal et ses calendriers est formé du modèle Goal Programming 0-1 constituant les objectifs et les contraintes envisagées. Le modèle Goal Programming 0-1 est une modèle variant du Goal Programming qui ne consiste que les variables de décision en 0 ou 1.

Nous ne considérons que tous les objectifs qui ont exprimé et décrit par les critère majeurs et les sous-criteres retenus dans les étapes précédents. On a retenu alors 21 les objectif majeurs de sélection du développement des projets. En plus, notre modèle également considère les contraintes suivantes :

- disponibilité de budget total suivant les périodes de temps de la planification
- demande de puissance d'électricité
- demande en énergie
- sélection d'un projet rejeté, 1 ou 0. ( binaires entiers)
- réalisation de projet unique
- Non-négativité sur les variables négatives et positives

Dans notre formulation, nous avons regroupé les symboles en quatre catégories : les indexes, les donnés, et les variables décisions. les paramètres des poids d'importance relative accordée à chacun des objectifs considérés que nous avons obtenus par la méthode AHP.

#### • INDEXES :

- $i \in I$  : index des alternatives du développement des projets proposés
- $t \in T$  : périodes de temps à réaliser des projets
- $k \in K$  : types des charges de puissance
- $j \in J$  : objectifs majeurs de sélection des projets
- $l \in L$  : types des gazes du polluant

- **VARIABLES DE DECISIONS :**

- $X_i$  : variables de décisions du choix de projet  $i$   
 = 1 si l'alternative d'un projet proposé  $i$  est sélectionné  
 = 0 autrement
- $Y_{it}$  : variables de décision de réaliser de projet sélectionné  $i$  en période de temps  $t$   
 = 1 si l'alternative de projet  $i$  à réaliser en période de temps  $t$   
 = 0 autrement
- $n_j$  : variable d'écart négatif par rapport à la valeur cible d'objectif-  $j$
- $p_j$  : variable d'écart positif par rapport à la valeur cible d'objectif - $j$

- **DONNEES**

- $r$  : taux d'intérêt considéré
- $\alpha$  : puissance électrique disponible (*available capacity power*)
- $\tau$  : durée de temps d'opération en types de charge de puissance (*load region factor*)
- DE : demande en énergie totale
- DP : demande en capacité de puissance
- CAP : puissance brute pour l'unité de projet  $i$  (*power capacity*)
- FD : facteur de puissance pour l'unité projet  $i$  (*capacity factor*) en charge de pointe
- BAT : budget annuel total disponible
- CC : coût du capitale (*Capital Cost*)
- AC : coefficient d'annuité constante
- CO : coût de l'opérationnel (\$/MWh)
- CC : coût de l'investissement (\$/MW)
- CCU : coût unitaire (cents \$/kwh) de production d'électricité
- CEG : coefficient de rejets/émission des gazes polluants

• **PARAMETRES DES POIDS IMPORTANCE RELATIVE DES PROJETS ACCORDE A CHACUN DES OBJECTIFS/CRITERES CONSIDERES :**

Tous les paramètres des projets proposés ici ont été calculé qualitativement basés sur les préférences/jugements exprimants par les évaluateurs/les répondants consulté par rapport à chaque sous-critere/intensité de sous critères correspondants.

W	: coefficient de pondération de l'importance relative de chacun des objectifs
CTRI	: l'intensité de taux de rentabilité
CVAN	: l'intensité de valeur actuelle nette
CTDR	: l'intensité de durée de récupération
CCE	: catégories de l'intensité de création d'emplois
CDR	: catégories de l'intensité de développement régional
CRI	: catégories de l'intensité de relations industrielles
CDE	: catégories de l'intensité des réserves des ressources en matière premières énergétiques pour le projet
CQE	: catégories de l'intensité de l'impact sur la qualité de l'eau et du sol
CEN	: catégories de l'intensité de l'impact sur les écosystèmes et naturels
CAG	: catégories de l'intensité de l'impact sur l'atmosphérique globaux
CCS	: catégories de l'intensité de l'impact sur les changements sociaux
CEG	: catégories de l'intensité de l'émission de gaz
CTA	: catégories de l'intensité d'adaptation technologique
CAS	: catégories de l'intensité d'assistance technique
CPI	: catégories de l'intensité de coopération industrielle
CRF	: catégories de l'intensité des ressources financières.

### **5.3.2.1 Présentation de la fonction objectif du modèle**

L'étape suivante de notre méthodologie consiste en la construction d'un modèle mathématique de programmation multiobjectif à but multiples du Goal Programming 0-1.

Les préférences relatives des critères, sous-critères et l'intensités de sous-critères qualitatifs sont comme les paramètres du modèle développé. Le vecteur réalisation est à formuler en fonctions de l'objectif considérés avec les poids importance relative accordée

des critères comme ses paramètres. Ils ont obtenus par les résultats de l'AHP que nous avons décrit au sous-chapitre précédent.

Tous ces objectifs que nous allons formuler sont liés aux missions concernant le développement de secteur électricité de l'Indonésie sous les critères retenus.

Dans le cadre du Goal Programming, le processus de l'optimisation consiste à minimiser les variables des déviations négatives (n) et les variables des déviations positives (p) i.e. les écarts non désirés par rapport aux cibles buts/objectifs fixées. Quant à notre cas, les niveaux d'aspiration ou les buts à atteindre à la fonction d'objectifs ont été définis de la manière suivante:

- Si fonction d'objectif en forme de "minimiser", on établit les buts à atteindre un nombre le plus bas possible c'est-à-dire égale 0
- Si fonction d'objectif en forme de "maximiser", on établit les buts à atteindre un niveau suffisamment élevé pour satisfaire les objectifs concernés.

Les équations et les fonctions d'objectifs associées peuvent être formulées comme indiqué dans les sous-chapitres suivants.

#### **a Sous-critères des financiers**

Les équations des (5.1) à (5.4) présentent des fonctions des buts flexibles en satisfaisant les cibles des objectifs selon les sous-critères financiers de la sélection des projets. Sous ce critère retenu, notre objectif consiste à sélectionner les projets qui se permettent de :

- minimiser le coût total de production en énergie électrique pour période de t
- maximiser le taux de rentabilité interne
- maximiser la valeur actuelle nette (VAN)
- minimiser la durée de récupération



Fonctions des objectifs de sous-critère financier	Le variable à minimiser (goal objectif)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation du coût total de la génération en énergie (CCT)</li> </ul> $\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} CCU_i \left[ \frac{(+r)^{T-(t-1)} - 1}{r(1+r)^{T-(t-1)}} \right] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i Y_{it} + n_1 - p_1 = CCT \quad (5.1)$	p <sub>1</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation du taux rentabilité interne (TRI)</li> </ul> $\sum_{i \in I} TRI_i X_i + n_2 - p_2 = TRI \quad (5.2)$	n <sub>2</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation de valeur actuelle nette (VAN):</li> </ul> $\sum_{i \in I} CVAN_i X_i + n_3 - p_3 = VAN \quad (5.3)$	n <sub>3</sub>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation de la durée de récupération (DTR):</li> </ul> $\sum_{i \in I} CDTR_i X_i + n_4 - p_4 = DTR \quad (5.4)$	p <sub>4</sub>

### b Sous-critères économiques

Les équations des (5.5) à (5.4) présentent les fonctions des buts flexibles satisfaisant les objectifs fixés selon les critères économiques de sélection des projets retenus.

Sous le critère économique, la description des objectifs retenus pour la sélection des projets est exprimée et définie de la façon suivante:

- maximisation en création d'emplois provoqué par les projets
- maximisation du développement régionale
- maximisation du développement de la ressources locales
- maximisation de la relation industrielle

Fonctions des objectifs de sous-critère économique	Le variable à minimiser (goal objectif)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation de la création d'emplois (CE):  <math display="block">\sum_{i \in I} CCE_i X_i + n_5 - p_5 = CE \quad (5.5)</math> </li> </ul>	$n_5$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation du développement régionale (DR)  <math display="block">\sum_{i \in I} CDR_i X_i + n_6 - p_6 = DR \quad (5.6)</math> </li> </ul>	$n_6$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation de la relation industrielle (RI)  <math display="block">\sum_{i \in I} CRI_i X_i + n_7 - p_7 = RI \quad (5.7)</math> </li> </ul>	$n_7$
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation du développement ressource locaux  <math display="block">\sum_{i \in I} CDRL_i X_i + n_8 - p_8 = DRL \quad (5.8)</math> </li> </ul>	$n_8$

### c Sous-critère de la disponibilité des ressources en matière premières énergétiques à long terme

Ces fonctions des objectifs sont lié à la politique énergétique nationale qui a pour but de promouvoir en priorité les ressources d'énergétiques pour le central électrique.

La fonction d'objectif correspondant peut être formulée comme l'équation suivante i.e. : Maximisation de la réservation des ressources en matière premières énergétique.

Fonction de l'objectif de sous-critère de la disponibilité en matières énergétiques	Le variable à minimiser (goal objectif)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximisation de la réservation des ressources matière primer énergétique (DE)  <math display="block">\sum_{i \in I} CDE_i X_i + n_9 - p_9 = DE \quad (5.9)</math> </li> </ul>	$n_9$

### d Sous-critères sur les impacts environnementaux

Les équation de (5.10) à (5.11) présentent les fonctions des buts flexibles en satisfaisant les objectifs qui sont liées aux critères de l'impacts sur l'environnement.

Nous remarquons que ces quatre équations sont uns objectifs non commensurable qui ont été obligé de minimiser i.e. l'objectifs lie à la qualité de l'eau et du sol, l'objectifs lie à

l'écosystème naturelle et enfin l'objectif lié aux changements sociaux. Les restes des équation sont uns objectifs commensurables liés aux émission des gaz polluants.

Fonctions des objectifs de sous-critère sur les impacts environnementaux	Le variable à minimiser (goal objectif)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation de l'impact environnemental de la qualité d'eau et sol (QES):  <math display="block">\sum_{i \in I} CQES_i X_i + n_{10} - p_{10} = QES \quad (5.10)</math> </li> </ul>	p10
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation de l'impact environnemental de l'écosystème naturel (EN):  <math display="block">\sum_{i \in I} CEN_i X_i + n_{11} - p_{11} = EN \quad (5.11)</math> </li> </ul>	p11
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation de l'impact environnemental à la pollution de l'air et à-la condition atmosphérique global (AG):  <u>Gaz CO2:</u>  <math display="block">\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} [T - (t - 1)] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i CEG_i^{CO2} Y_{it} + n_{12} - p_{12} = AG^{CO2} \quad (5.12)</math> <u>Gaz CO:</u>  <math display="block">\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} [T - (t - 1)] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i CEG_i^{CO} Y_{it} + n_{13} - p_{13} = AG^{CO} \quad (5.13)</math> <u>Gaz NOx:</u>  <math display="block">\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} [T - (t - 1)] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i CEG_i^{NOx} Y_{it} + n_{14} - p_{14} = AG^{Nox} \quad (5.14)</math> <u>Gaz SOx:</u>  <math display="block">\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} [T - (t - 1)] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i CEG_i^{SOx} Y_{it} + n_{15} - p_{15} = AG^{SOx} \quad (5.15)</math> <u>Gaz SPM:</u>  <math display="block">\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} [T - (t - 1)] \alpha_{ik} \tau_k CAP_i CEG_i^{VHM} Y_{it} + n_{16} - p_{16} = AG^{VHM} \quad (5.16)</math> </li> </ul>	<p>p12</p> <p>p13</p> <p>p14</p> <p>p15</p> <p>p16</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimisation de l'impact environnemental: changement sociaux (CS):  <math display="block">\sum_{i \in I} CCS_i X_i + n_{17} - p_{17} = CS \quad (5.17)</math> </li> </ul>	p17

### e Sous-critères stratégiques

Les équations de (5.18) à (5.21) présentent les fonctions des buts flexibles en satisfaisant les objectifs qui sont liées au critère stratégique

Nous remarquons que ces quatre équations sont uns objectifs non commensurable et ont été obligé à maximiser. La description des objectifs retenus peut être exprimée de la façon suivante:

- maximisation de la ressources de financement
- maximisation de l'adaptation technologique
- maximisation de l'assistance technique
- maximisation de la coopération industrielle

Fonctions des objectifs de sous-critère stratégique	Variable à minimiser (goal objectif)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximisation de l'adaptation technologique (TA)  <math display="block">\sum_{i \in I} CTA_i X_i + n_{18} - p_{18} = TA \quad (5.18)</math> </li> </ul>	$n_{18}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximisation de l'assistance technique (AT)  <math display="block">\sum_{i \in I} CAT_i X_i + n_{19} - p_{19} = AT \quad (5.19)</math> </li> </ul>	$n_{19}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximisation de la coopération industrielle  <math display="block">\sum_{i \in I} CPI_i X_i + n_{20} - p_{20} = PI \quad (5.20)</math> </li> </ul>	$n_{20}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximisation de la ressources financière (RF)  <math display="block">\sum_{i \in I} CRF_i X_i + n_{21} - p_{21} = RF \quad (5.21)</math> </li> </ul>	$n_{21}$

### 5.3.2.2 Présentation des fonctions des contraintes

#### a. Contrainte d'investissement total suivant les périodes de temps de la planification

Cette contrainte budgétaire oblige le modèle à rechercher si un programme d'investissement de projets est réalisable dans une période de temps donné et avec un budget préalablement défini. La contrainte de ce type est formulée de la façon suivante:

$$\sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (CC_i) \frac{(1+r)^t - 1}{r(1+r)^t} CAP_i Y_{it} \leq BAT \quad (5.22)$$

#### b. Contraintes de demande en puissance d'électricité

Les capacités de puissance disponibles totales de la centrale en chaque période de temps  $t$  doivent excéder ses besoins en puissance. La contrainte de demande de puissance pour période  $t$  peut être formulée de la manière suivante:

$$\sum_{i \in I} FP_i CAP_i Y_{it} \geq DPT_t, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (5.23)$$

### c Contraintes de demande en énergie

L'énergie par la produite totale centrale en chaque par période de temps  $t$  et le type de charge  $k$  doivent excéder les demandes d'énergie. Nous pouvons formuler mathématiquement ces contraintes de la manière suivante :

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \alpha_{ik} t_k CAP_i Y_{it} \geq DE_t \quad \text{pour } \forall t = 1, \dots, T \quad (5.24)$$

### d Contraintes de réalisation de projet unique

Ces contraintes obligent le modèle de sélection des projets à vérifier si un projet est ordonné dans une période de temps différente, aucun projet multiple ne peut être sélectionné dans la même période de temps. On obtient:

$$\sum_{i=1}^K Y_{it} - X_i = 0, \quad \forall t = 1, 2, \dots, T \quad (5.25)$$

### e Contraintes de sélection d'un projet rejeté ou accepté, 1 ou 0 ( binaires entiers)

$$X_i, Y_{it} \in (0,1), \quad \begin{cases} \forall i = 1, 2, \dots, I \\ \forall t = 1, 2, \dots, T \end{cases} \quad (5.26)$$

### f Contraintes de non-négativité sur les variables négatives et positives

$$n_i, p_i \geq 0$$

#### 5.3.2.3 Présentation de fonction de vecteur réalisation et la structure de priorité des fonctions objectifs

Quant à la formulation du Goal Programming, la solution optimale est indiquée par le vecteur de réalisation pour lequel nous pouvons recherchons le minimum de sa valeur.

Ce vecteur de réalisation ou bien le vecteur d'accomplissement exprime une situation où le décideur préfère le sur-achèvement plutôt que le sous-achèvement d'un objectif ou inversement. Pour se conforme à ses préférence, le décideur pourra attribuer des poids relatif  $w_j$  aux variables d'écarts  $p_j$  et variables d'écarts  $n_j$  de chaque objectif formulé. On note ici que  $w_j$  ont été envisagé comme une représentation de l'aspect cardinal de l'information donnée par les évaluateurs/les décideurs.

Donc, en ce qui concerne de notre travail, on peut construire le vecteur de réalisation du problème sélection des projets de la manière suivante:

Minimiser :

$$\bar{a} = \left\{ \begin{array}{l} w_1(p_1) + w_2(n_2) + w_3(n_3) + w_4(p_4) + w_5(n_5) + w_6(n_6) + w_7(n_7) + w_8(n_8) + w_9(n_9) + \\ w_{10}(p_{10}) + w_{11}(p_{11}) + w_{11}(p_{11}) + w_{12}(p_{12}) + w_{13}(p_{13}) + w_{14}(p_{14}) + w_{15}(p_{15}) + \\ w_{16}(p_{16}) + w_{17}(p_{17}) + w_{18}(n_{18}) + w_{19}(n_{19}) + w_{20}(n_{20}) + w_{21}(n_{21}) \end{array} \right\} \quad (5.27)$$

Où :

$\bar{a}$  = le vecteur réalisation pour lequel nous recherchons le minimum de fonctions linaires pondérées. des variables de déviation ou des 'écarts' ( $n_j$  et  $p_j$ ).

$w_j$  = le poids associé au  $j^{\text{ième}}$  objectifs d'où l'aspect cardinal de l'information à donner par le décideur.

Dans notre modèle, les coefficient des pondération  $w_j$  expriment l'importance relative de chacun des objectifs ou des sous-critères pertinents retenus qui ont été proposé d'approcher par l'utilisation de la méthode AHP.

La solution qui minimise la déviation totale représentée par le vecteur  $\bar{a}$  sera la meilleur solution compromis du problème d'optimisation multiobjectifs.

### 5.3.3 DEMARRAGE D'AIDE A LA SELECTION DES PROJETS

En méthodologie d'aide à la selection des projets proposée, nous utilisons l'information basée sur la donnée quantitative qui existe dans des documents d'étude de

faisabilité de chaque projet étudié en tant que les données fournies qualitativement par les décideurs et les experts concernés.

Il est important de noter dans la phase selection de projet que l'intelligence économique au service de la planification stratégique va permettre au travers de la cellule de veille d'apporter toutes les informations relatives aux critères et objectifs des projets pertinents.

Si la veille technologique a pour but la surveillance systématique de l'environnement technico-économique de l'entreprise, cette méthodologie vise l'étude des critères utilisés pour l'évaluation et la selection d'un projet. Ces deux approches néanmoins liées de par leur finalité. En effet un projet a besoin de la veille technologique pour voir le jour et la Veille Technologique à besoin de projet pour justifier son existence.

Or, les critères à retenir pour juger les projets dépendent à la fois de la nature des projets envisagés, du système de valeur du décideur et des objectifs qu'il cherche à atteindre. Dans notre cas, ce critère et objectifs ont pris compte les considérations:

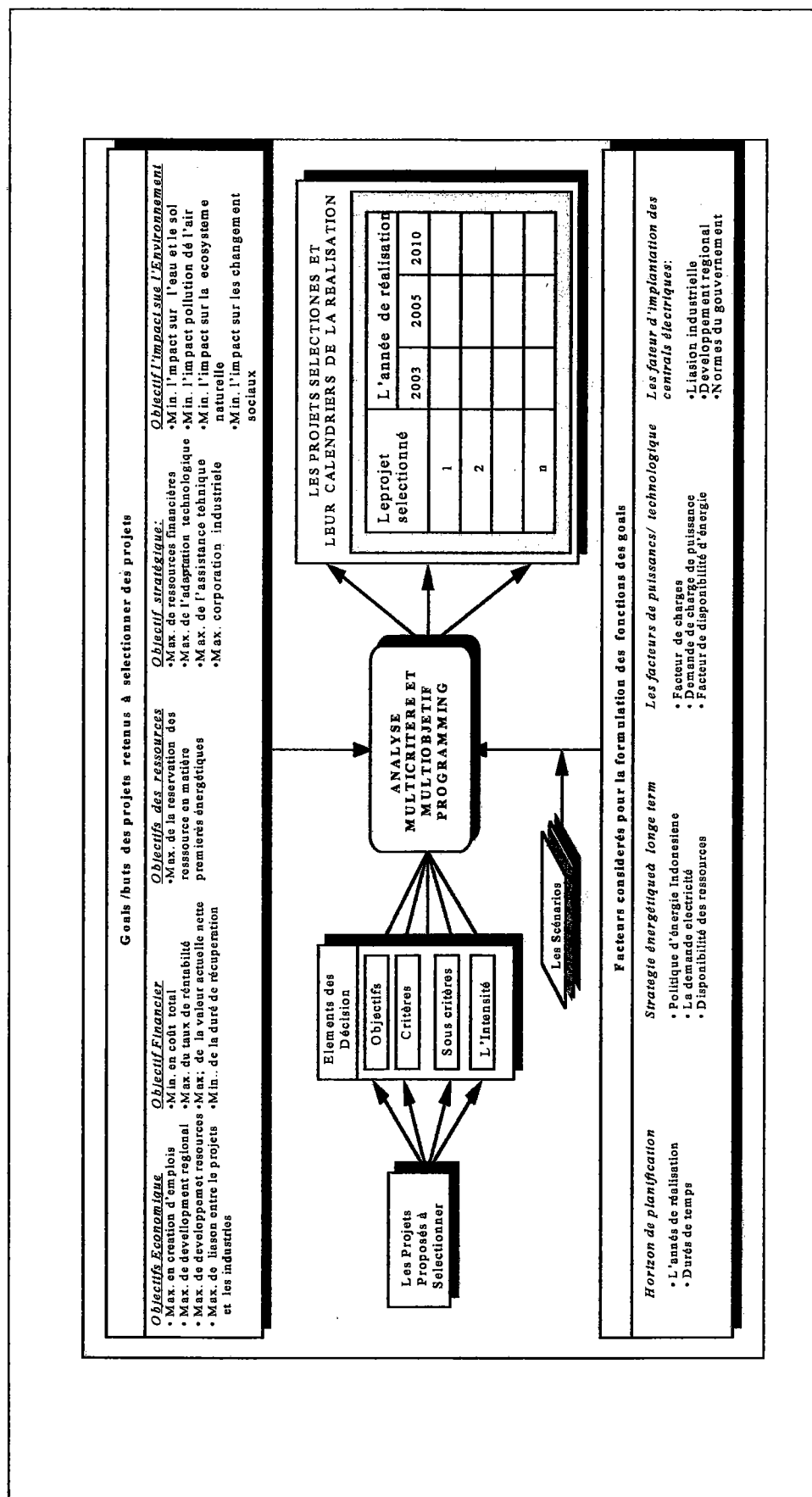
- d'ordre politique: contrainte fixée par l'État, contrainte en provenance de l'ONG et des actionnaires et des clients (société).
- d'ordre économique : influence des projets sur l'environnement industriel, développement régionale locale, liens entre projets et industries, promouvoir l'emploi, coopération industrielle
- d'ordre financier: coût des investissement, coût total de production, efficacité du financement
- d'ordre social : avantages divers pour les collectivités, transfert du savoir-faire et de la technologie, valoriser le ressources humaines par la formation,
- d'ordre écologique: contrainte fixée par les ressources naturelles, écosystème et en respectent les recommandations internationales sur les émissions atmosphériques globales, les gaz et l'effet de serre.

Pour voir clair , nous pourrions identifier les flux d'information sous forme d'intrants et d'extrants et nous rendre à l'évidence que plusieurs source d'informations sont



communes à certaines. La figure 5.6 schématiser la flux d'information dans d'aide à la décision développée.

En ce qui concerne des avantages de la méthode proposée par rapport aux travaux antérieur, il est souhaité que ce modèle d'aide à la décision vas nous permettra de fournir une information importante pour la décision, au décideur pour sélectionner les projets candidats le mieux adapté et prenant en compte entre autre la valeur du "trade off".



**Figure 5.7** Flux d'information dans d'aide à la sélection des projets développé

## **CHAPITRE 6**

# **ANALYSE DES RESULTATS DE MISE EN ŒUVRE DU MODELE D'AIDE A LA SELECTION : ÉTUDE DE CAS DE DEVELOPPEMENT DES PROJETS ELECTRIQUES DU SYSTÈME DE JAVA-BALI**

Dans le chapitre précédent, nous avons montré la proposition une méthodologie d'aide à la décision pour optimiser du choix et du calendrier du développement de centraux électriques, à partir d'une étude de faisabilité.

Notre modèle constitue une d'intégration de la méthodologie de l'AHP et du Modèle Goal Programming 0-1. On utilise cette approche pour l'application en cas réel de l'optimisation de la sélection des meilleurs nouveaux projets électriques Indonésiens du système de Java - Bali.

Ce chapitre présente le type de résultat qu'il est possible d'obtenir avec la méthodologie développée dont on a présenté l'ossature au chapitre précédent. La première sous-chapitre présente les critères d'évaluation et de sélection des projets retenus. Le second sous chapitre analyse l'importance relative des critères et des sous-critères de sélections du projet résultant de l'utilisation de l'AHP et utilise ces résultats pour évaluer tous les projets par rapport à l'ensemble des objectifs poursuivis. Le troisième sous chapitre présente la solution et l'analyse de mise en ouvre du modèle d'intégration de la méthode AHP et la programmation mathématique à buts multiples du "Goal Programming 0-1 " à la problématique. Enfin, nous allons effectuer une étude de la sensibilité à partir les variations des différents paramètres du modèle.

### **6.1 CRITÈRES D'ÉVALUATION ET DE SELECTION DU PROJET**

#### **6.1.1 DONNEES ET INFORMATION SUR LES CRITERES DE SELECTION**

L'AHP peut faciliter l'emploi de l'information qualitative et la possibilité de communication entre les membres du groupe décideur, augmentant ainsi la quantité d'information disponible pour l'un et la croyance en l'utilité du modèle pour les autres.

De cette manière notre étude essaie d'utiliser l'approche de l'AHP qui nous permet d'inclure les modèles formels et les aspects subjectifs des modèles mentaux qui sont traditionnellement employés dans la prise de décision.

L'évaluation du projet étudié sur les critères quantitatifs et objectifs est calculée directement à partir des indicateurs qui les caractérisent basé sur les documents des études de faisabilité et la base de données publiée ou les rapports disponibles sur les projets électriques envisagés:

Par contre, la performance qualitative d'un projet, pour chacun de tous critères qualitatifs sont évalués par les répondants et les experts par un processus interactif. Les répondants qui nous aident de donner ses préférences représentent de :

- Société Nationale d'Électricité de l'Indonésie (PLN)
- Bureau de planification du développement national (BAPPENAS)
- Universitaires de l'Institut de la Technologie de Surabaya (ITS)
- Centre d'Étude de la Population et les Environnementaux de l'ITS
- Organisation Non Gouvernementale de WALHI

En effet, les critères retenus sont jugés par les experts ou les responsables de départements et d'organismes divers qui ressemblent différents intérêts. Le fait de travailler en groupe est plus riche dans la mesure ou une discussion et une certaine divergence du point de vue mènent à une meilleure créativité et une représentation plus complète de la décomposition du problème.

Lorsque plusieurs individus appartenant à un groupe expriment des préférences ou des évaluations différentes, le groupe doit aboutir à une préférence ou une évaluation unique. Il est nécessaire d'utiliser des procédures d'agrégation des données individuelles. Pour cela, nous considérons la méthode du consensus qui pourra être mise en œuvre facilement dans le cadre de l'application de la méthode

Comme les préférences globales relatives aux projets sont contingentes à la personnalité du décideur, nous avons cherché à associer les responsables et les cadres de ces différents organismes à la définition des axes de signification dont il faut tenir compte pour asseoir les préférences de la collectivité.

#### 6.1.2 DEFINITION DES CRITERES DE SELECTION DES PROJETS

Nous avons établi cette liste de critères sur la base des objectifs fixés par le plan national énergétique national d'anergie et des suggestions des différents acteurs du processus

de décision de la sélection de projets indonésiens. Ces acteurs ont reconnu par la pertinence et l'exhaustivité de la famille des critères que nous avons retenue pour évaluer et sélectionner les projets électriques du point de vue de la collectivité.

Comme le montré le chapitre précédent, compte tenu du grand nombre facteurs à prendre en compte, nous avons retenu 5 critères principaux pour la sélection des projets électriques Indonésiens. Ces familles de critères se composent en 21 de sous-critères par lesquels on permet de construire les fonctions des objectifs du modèle avec 44 classes d'intensité de sous-critère.

### 6.1.2.1 Critères des financiers

Il s'agit de critères qui ont trait aux effets financiers provoqués par l'insertion des projets étudiés. Ces critères sont liés à l'évaluation financière sur les visibilités des projets électriques qui n'envisage que sous l'aspect d'une évaluation de la sélection des projets électriques.

On en a dénombré 4 sous-critères financiers pertinents. Ce sont les experts et les économistes tant que les planificateurs du PLN (Société nationale d'électricité) et du BAPPENAS (Bureau de planification du développement national) qui nous ont aidés d'évaluer qualitativement l'intensité des sous-critères.

#### a Sous-critère de coût total de la production énergétique

Ce sous-critère est évalué en sommant le coût total de production énergétique en valeur actuelle satisfaisant la demande durant la période d'analyse. Le coût total de production énergie est obtenu par la multiplication de la somme la production énergie et le coût production unitaire en valeur actuelle.

$$CUA = CU \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}. \quad (6.1)$$

ou:

- CUA = Coût total de la production énergétique en valeur actuel (\$/kWh) pour n période
- CU = Coût unitaire (\$/kWh)
- r = Taux d'intérêt (%)
- n = Période d'analyse (ans)

### b Sous-critère du taux de rentabilité interne (TRI)

On a pris le taux de rentabilité interne pour représenter le sous-critère de rentabilité. Le taux de rentabilité interne est le taux qui rend le flux monétaire (*cash flow*) actualisé seul. On peut le calculer en utilisant la formule c'est-à-dire le taux d'actualisation qui permet de vérifier l'équation suivante:

$$\frac{FM_1}{(1 + TRI)^1} + \frac{FM_2}{(1 + TRI)^2} + \frac{FM_1}{(1 + TRI)^{10}} + \dots + \frac{FM_n}{(1 + TRI)^n} - I = 0 \quad (6.2)$$

ou:

$FM_n$  = Flux monétaire pour la période de 1 à n

TRI = Taux de rentabilité interne

n = Durée du projet (ans)

I = Investissement initial

Sous ce critère, on juge qu'un projet électrique est intéressant si son TRI est supérieur à une certaine valeur fixée a priori (taux d'actualisation). Le meilleur projet est celui qui a le TRI le plus élevé.

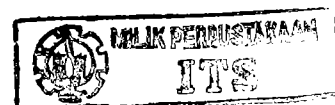
Pour passer à une analyse multicritère et pour tenir compte du classement qualitatif, nous avons utilisé l'intensité de TRI en 3 catégories. Nous pouvons présenter les échelles de l'intensité et les définitions opérationnelles de ce sous-critère dans la manière suivante :

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Elevée	Taux de rentabilité plus de 20 %
• Moyenne	Taux de rentabilité de 12 % à 20 %
• Faible	Taux de rentabilité moins que 12 %

Donc, plus le taux de rentabilité interne d'un projet est élevé, plus le projet pourrait être donné préféré/favorisé pour la sélection.

### c Sous-critère de valeur actuelle nette (VAN)

Ce sous-critère est lié à l'objectif de la rentabilité d'un projet. Il consiste à estimer la contribution du projet au revenu d'état. Cette contribution est représentée, au niveau des projets, par la valeur actuelle nette. Elle correspond à la différence entre la valeur actuelle brute créée par le projet (installation-production-intermédiaires etc.) et le montant de l'investissement nécessaire à sa réalisation.



On juge qu'un projet d'électrique est intéressant si son VAN est supérieur à zéro. Le meilleur projet est celui qui a le VAN le plus élevé positif. Le taux d'actualisation en Indonésie que nous avons choisi est de 12 % par an.

Le VAN peut être calculé en utilisant la formule suivante :

$$VAN = \frac{FM_1}{(1+r)^1} + \frac{FM_2}{(1+r)^2} + \frac{FM_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{FM_n}{(1+r)^n} - I \quad (6.3)$$

ou :

$FM_n$  = Flux monétaire pour la période de 1 à n

$r$  = Taux d'intérêt

$n$  = Durée du projet (ans)

$I$  = Investissement initial

Pour procéder à la détermination de l'importance relative de sous-critère de la valeur actuelle nette (VAN), on a pris l'intensité et les définitions opérationnelles pour l'évaluation d'un projet dans la manière suivante:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Accepté	Somme de valeur actuelle d'un projet positif
• Non accepté	Somme de valeur actuelle d'un projet négatif

Donc, si un projet est accepté, plus le projet pourrait être préféré/favorisé pour la sélection.

#### **d Sous-critère de durée de récupération (DR)**

Le sous-critère de durée de récupération est simplement le temps nécessaire pour récupérer l'investissement initial à partir des revenus monétaires résultant du projet.

Ce critère est utilisé en Indonésie pour connaître la date de remboursement de l'investissement initial, et ceci du fait que tous les projets sont financés par des prêts étrangers [PURNOMO,1995]. Elle a beaucoup été utilisé en Indonésie parce qu'elle est plus simple.

Le délai de récupération peut être calculé en utilisant la formule suivant:

$$DR = \frac{I}{FM} \quad (6.4)$$

ou:



- DR = Duré de récupération  
 FM = Flux Monétaire annuel du projet  
 I = Investissement initial

Nous avons retenu l'intensité des sous-critères des durées de récupération et ses définitions fournies par les planificateurs en ces termes:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Elevée	Duré de récupération plus que 15 ans
• Moyenne	Duré de récupération de 8 à 15 ans
• Faible	Duré de récupération moins que 8 ans

Donc, plus la durée de récupération d'un projet est élevée plus l'un projet pourrait être préférentiellement sélectionné.

#### 6.1.2.2 Critères économiques

Il s'agit de critères qui ont trait aux effets économiques provoqués par l'insertion de projets étudiés dans l'économie nationale ou régionale. On dénombre 4 sous critères qui sont retenus par les répondants.

##### a Sous-critère de création d'emplois

Ce critère concerne à l'évaluation du nombre des emplois directs, indirects et secondaires créés par un projet. Le plan économique national fait de l'emploi une de ses priorités principales, car l'Indonésie traverse une crise de l'emploi d'une grande acuité après les crises monétaires (le taux de chômage passe de 14,3 % en 1996 à 20 % en 1998 soit un taux d'accroissement de 40 % sur deux ans). L'emploi constitue une variable stratégique du développement et donc un critère de base pour le choix des projets, notamment dans le cas projet public.

GARRABE [1994 ] a décrit les types d'emplois générés par les projets: (i) emplois directs créés identifiables à partir des documents d'un projet, (ii) des emplois directs induits par sa demande économique, (iii) des emplois indirects induits par les effets de sa demande à l'économie, (iv) des emplois secondaires du aux dépense liées aux emplois créés et emplois induits.

Bien que la contribution d'un projet à l'amélioration de la situation des emplois puisse être évaluée, il est difficile de déterminer pour les projets électriques Indonésiens cet apport

pour la méthode développée par GARRABE [1994] et par Méthode de Effets [CHERVEL, 1987] ceci à cause des particularités Indonésiennes. C'est également plus compliqué car il faut aboutir à une décomposition unique qui rassemble tous les effet à l'économie.

C'est pourquoi ces critères sont liés et évalués qualitativement par l'estimation d'experts au bureau de la planification Nationale de BAPPENAS, pondéré par l'intensité de 3 classements différents. L'intensité des sous critères pour la création totale d'emplois directs et indirects par projet est définie en ces termes:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Bonne	Nombre d'emplois créés plus que 2000
• Moyenne	Nombre d'emplois créés de 1000 à 2000
• Faible	Nombre d'emplois créés moins que 1000

Donc, plus la contribution du projet à la création d'emplois est forte, plus le projet peut être sélectionné.

### **b Sous-critère de développement régional**

La stratégie de développement est définie dans le plan par sa contribution à la réduction des déséquilibres régionaux. En effet, partant du constat de concentration des centrales électriques du système Java-Bali sur l'axe Gresik - Probolinggo à l'Est de Java, Semarang-Jepara au centre de Java et aussi Suralaya-Cilegon à l'Ouest de Java. Le planificateur voit dans la déconcentration et la régionalisation un moyen de propager les effets de croissance des investissements sur tout le territoire de l'île de Java.

Pour orienter les investisseurs vers les régions les moins nanties, un encouragement substantiel est accordé. Aussi, la contribution d'un projet à la réduction des disparités régionales varie en fonction de sa localisation, plus cette localisation est défavorisée, plus la contribution à cet objectif est important.

En fait, ce critère est évalué sur une échelle qualitative traduisant l'importance qui il peut propager au niveau des effets de croissance économiques-sociales sur tout le territoire. Cette échelle qualitative est évaluée par les experts et les planificateurs du secteur électricité du BAPPENAS comme suit:

Echelle de poids	Définition opérationnelle du critère
• Significatif	Emplacement d'un projet dans une région moins développée
• Moyen	Emplacement d'un projet dans une région en développement
• Minimal	Emplacement d'un projet dans une région déjà développée

Donc, plus l'emplacement d'un projet est dans une région moins développée, plus le projet pourrait être sélectionné.

### c Sous-critère des liens entre les projets et les industries

La création d'un projet exige certains produits venant d'autres industries comme composante de l'équipement des industries électriques, matière intermédiaire ou première qu'on doit soit importer de l'étranger, soit fabriquer à l'intérieur du pays en créant d'autres projets. Les produits d'une industries (output) peuvent être nécessaires comme input dans d'autres industries et peuvent entraîner l'implantation d'autres usines pour les produire. En effet, s'il a des effets sur d'autres projets on a besoin des projets complémentaires.

Le choix d'un projet doit viser à l'exploitation de ces effets de liaison. En Indonésie, on a implanté des centrales électriques en pensant qu'on ne peut pas avoir un développement industriel en créant des industries isolées, sans tenir compte de ces liens, mais qu'il faut essayer de créer des complexes industriels. En ce sens, RAMELAN [1994] a affirme que " l'estimation de liens entre le projet électrique et les industries domestiques est très importante pour une économie qui présente une industrie électrique faiblement développée en Indonésie. Il est important de noter que pour le budget disponible projeté pour le développement des projets électriques Indonésiens on consacre environ 66,7 milliards de dollars pour 10 ans.

Plus la part de composant d'un projet peut être fournie par les produits des les industries domestiques, plus les effets d'induction dus au fonctionnement du projet seront forts pour l'industrie nationale.

En fait, l'intensité d'intégration varie en fonction des facteurs suivants la structure de production du projet et son degré d'intégration verticale. C'est ainsi que, d'une part, l'intensité d'intégration varie avec la longueur du cycle de projet, plus le cycle est long plus l'intensité d'intégration est importante.

Ce critère est évalué par le planificateur du bureau de la planification nationale de BAPPENAS. Le répondant complète le critère de l'intensité des liens des sous-critères entre les industries et le projet. En fait, ce critère est évalué sur une échelle qualitative traduisant l'importance qui il peut retenir la classification suivante :

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Exceptionnel	Amélioration de la capacité d'une liaison entre le développement industries locales et le fournisseur est exceptionnelle
• Bon	Amélioration de la capacité d'une liaison entre le développement des industries locales et le fournisseur est forte
• Moyen	Amélioration de la capacité d'une liaison entre le développement des industries locale et le fournisseur est moyen
• Insuffisant	Amélioration de la capacité d'une liaison entre le développement des industries locales et les fournisseurs est très faible

Donc, plus la contribution d'un projet à améliorer la capacité d'une liaison industrielle est forte, plus le projet pourrait être sélectionné.

#### **d Sous-critère de développement des ressources locales**

Ce critère tient compte de la préférence d'un projet qui encourage l'utilisation de ressources locale afin d'augmenter la valeur ajoutée

L'installation d'un projet et le fonctionnement des projets permettent de provoquer de nombreux effets de demande en matière industrielle locale et également contribuent à développer les petites industries locales ainsi que l'artisanat qui pourrait être favorisé pour produire les matériaux et composants locaux.

Il faut noter que la production en grande quantité d'énergie pourrait entraîner l'implantation de grosses industries consommatrices d'énergie telles que l'industrie de l'aluminium et du ciment. Enfin, cette liaison indirecte pourrait augmenter les valeurs ajoutées des ressources locales.

L'industrie de production d'engrais constitue également une activité dont le développement pourrait être favorisé par l'existence d'un secteur énergétique prospère. L'importance des industries basées sur les ressources locales comme le secteur agricole donne plus de relief à la valeur stratégique de cette industrie pour l'accroissement de productivité locale.

L'échelle qualitative retenue de ce sous-critère est définie par le planificateur du BAPPENAS qualitativement dans la façon suivante :

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Important	Améliorer le niveau d'utilisation des ressources et matières locales (matière première et composant manufacturé) est forte
• Moyen	Améliorer le niveau modéré d'utilisation des ressources et matières locales (matière première et composant manufacturé)
• Mineur	Dépendre de l'utilisation de ressources et matières importées est très faible.

Donc, plus la contribution d'un projet à l'amélioration du niveau d'utilisation des ressources locales est plus forte le projet pourrait être sélectionné.

### 6.1.2.3 Critère de disponibilité des ressources énergétiques à long terme

Ce critère concerne en fait l'exportation des ressources énergétiques notamment le pétrole et le gaz qui sont devenue une des principales sources de financement du développement. Donc, ce critère est lié à la priorité d'utilisation des ressources énergétiques pour permettre le développement des revenus du gouvernement.

En 1995, comme nous l'avons vu dans le sous chapitre (4.5 ) les revenus procurés par l'exportation du pétrole et gaz indonésien ont atteint le milliard de dollars.

Pour plusieurs commissions du service public Indonésien, il devient vite évident que la conservation de l'énergie pourrait être une mesure plus économique et acceptable du point de vue environnemental que la production de la même quantité d'énergie.

Afin de satisfaire le service électrique du PLN d'Indonésie adoptera des mesures réglementaires visant à intégrer l'ensemble des coûts internes et externes dans les analyses coûts avantages soit les sources liées à offre et à la gestion de la demande. Cela nécessite une planification intégrée des ressources visant la diversité des ressources énergétiques. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre en compte des critères de disponibilité des ressources énergétique dans le processus de sélection des projets pour une nouvelle centrale de production électrique.

Ces ressources ont la priorité d'utilisation pour satisfaire la demande en électricité. Les ressources énergétiques envisagées pour développement de nouvelles centrales dans les 10 ans sont : Charbon, Hydraulique, Géothermiques, Gaz Naturelle, Pétrole, sauf nucléaire.

L'énergie solaire et éolienne sont des projets pilotés qui sont situés dans des régions pour satisfaire le demande, jusqu'à 10 ans ce ne sont pas encore les projets économiques.

L'étude de pre-faisabilité de construire centrale nucléaire a commencé au 1976 par IAEA [1976], mais quand on a la commencé à construire à partir de 1997, pour la mise en service de 2005, en Gunung Muria-Jepara de Central Java a été rejetée fortement par le plus

majorité de la population. En plus, en prévisions du coût total de production du kWh nucléaire indique qu'il est supérieur à celui du kWh produit par une centrale fonctionnant au fuel [Zulhal, 1994]. Les techniques des réacteurs nucléaires ne sont pas encore assez bien maîtrisées en Indonésie. Cette contrainte de coût en capital, associée à la complexité de la technologie de base des réacteurs amène à la conclusion que l'Indonésie n'a pas intérêt dans les 10 ans à entreprendre une politique de développement à outrance de la production d'énergie électrique nucléaire.

Donc, plus la contribution d'un projet à l'utilisation des ressources non énergétiques conventionnelles (énergie fossile) est forte plus le projet pourrait être sélectionné.

#### **6.1.2.4 Critères stratégiques**

Compte tenu du consensus qui existe actuellement sur la pertinence des critères, nous avons retenu quatre sous-critères stratégiques dans l'évaluation d'un projet électriques en Indonésie i.e. : sous-critère de l'adaptation des technologies, sous-critère de l'assistance technique, sous-critère de la coopération industrielle et sous-critère des ressources de financement

En effet, l'utilisation de technologies avancées permet d'obtenir des gains de productivité et de développer des ressources humaines en renforçant leur aptitude à se servir des nouvelles technologies. C'est pourquoi sur le plan stratégique d'électricité d'Indonésie du PLN, il encourage les projets électriques qui contribuent à renforcer la capacité technologique sur le plan local. Cet apport varie en fonction du type de technologie employée dans le processus de production du projet au niveau technologie domestique.

##### **a Sous-critère de l'adaptation des technologies**

Le transfert de technologies énergétiques en Indonésie nécessite souvent une adaptabilité appropriée. En général, il y a deux problèmes majeurs qui s'affrontent en Indonésie à l'égard de l'adaptabilité des technologies: le premier est l'identification et l'évaluation technologique disponible dans le marché mondial qui satisfait ses besoins et le second, la sélection de technologie qui considère ses contraintes économiques et son intérêt social.

Le problème n'est pas simplement de sélectionner un projet mais d'identifier les opportunités à adapter la technologie sélectionnée pour satisfaire les besoins du pays.

La technologie sélectionnée pour un projet précis devrait avoir été prouvée au niveau des coûts. Le décideur ou responsable du projet devrait aussi considérer le besoin de former la main-d'œuvre locale pour satisfaire l'adaptabilité des technologies au niveau local. Cette contrainte doit être prise en compte quand on sélectionne un projet.

Les intensités de l'évaluation pour ce sous-critère d'adaptabilité de la technologique, évalué par les universitaires de l'ITS, sont définies de la façon suivante:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Facile	Adaptation de technologie peut être <i>maîtrisée</i> avec le niveau technologique et les savoir-faire <i>disponibles</i> en Indonésie.
• Normale	Adaptation de technologie nécessite un niveau technologique <i>commerciallement prouvé</i> et les savoir-faire <i>disponibles</i> en Indonésie.
• Difficile	Adaptation de technologie nécessite le niveau technologique avancé et les savoir-faire <i>non disponibles</i> en Indonésie.

Plus cette technologie est sophistiquée et adaptative aux compétences locales plus fortes est la contribution du projet il sera donc favorisé au niveau du choix.

## **b Sous-critère de l'assistance technique**

Il s'agit d'apprécier la qualité de l'assistance technique que doit fournir le partenaire technique du projet étudié. Dans le projet énergétique Indonésien, l'assistance technique à fournir : le "engineering" et le savoir-faire sont nécessaires à l'installation de l'équipement et au lancement du projet. Aussi, l'assistance technique porte plus sur la formation du personnel et la résolution des problèmes techniques éventuels et la communication que sur l'innovation technologique.

Il apparaît donc que l'assistance technique est essentielle à la réalisation et au fonctionnement du projet. Aussi, pour l'apprécier, l'évaluateur devra se référer à la renommée du partenaire technique du projet à son expérience dans le domaine considéré, à la qualité de ses prestations aux clauses du contrat.

L'échelle qualitative retenue de ce sous-critère est définie par l'expert de technologique de l'universitaire dans la façon suivante :



Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Très bon	Les contributions d'un projet à augmenter la formation du personnel et à transférer le savoir-faire nécessaire à l'installation de l'équipement sont très bonnes
• Bon	Les contributions d'un projet à augmenter la formation du personnel et à transférer les savoir-faire nécessaires à l'installation de l'équipement lancement et au sont bonnes
• Faible	Les contributions d'un projet à augmenter la formation du personnel et à transférer les savoir-faire nécessaires à l'installation de l'équipement du projet sont faibles

Donc, plus la contribution d'un projet à l'amélioration de la formation personnelle est forte plus le projet pourrait être sélectionné.

### c Sous-critère de la coopération industrielle

Ce critère concerne la coopération avec des industries étrangères impliquent dans la création d'un projet énergétique.

A notre avis, c'est le meilleur moyen pour l'Indonésie d'obtenir une technologie énergétique convenable, car la coopération signifie que les deux partenaires travaillent ensemble, chacun endosse une partie de la responsabilité en dirigeant l'entreprise pour le profit de tous.

Le plus important c'est le rôle de la coopération industrielle dans formation des hommes. Car elle transfère la compétence d'aptitude ou la matrice industrielle. De ce fait, elle donne à la main d'œuvre indonésienne la possibilité d'acquérir le "*know how*", c'est-à-dire une façon de travailler et de maîtriser la technique. Ainsi, on peut chercher à développer et à adapter la technique faisant l'objet de la coopération.

La coopération avec des industries étrangères dans le domaine des générateurs d'électricité en Indonésie nous a poussée dans cette voie présentée par [ACHMADI, 1999] et aussi par RAMELAN [1994].

Ce critère est évalué par le planificateur industriel du bureau de la planification nationale de BAPPENAS. Le répondant complète les poids des sous critères de la coopération industrielle et peut pourra se prononcer sur la qualité de la contribution d'un projet selon la présentation suivante :

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Très bonne	Acquérir par un projet la propriétaire industrielle et technologique avec un <i>"joint venture"</i> avec les industries et les partenaires locaux.
• Bonne	Acquérir par un projet à la propriétaire industrielle et technologique sous un accord de licence industrielle avec les industries et les partenaires locaux.
• Faible	Acquérir par un projet à la propriétaire industrielle et technologique sous un accord d'assistance technique et de un <i>"turn key project"</i> .

Donc, plus la contribution d'un projet à l'amélioration de la coopération avec des industries est forte, plus le projet pourrait être sélectionné.

#### **d sous-critères des ressources de financement**

Nous pensons que, dans les conditions difficiles comme celles de Indonésie aujourd'hui, le critère de source de financement est le critère le plus important. C'est pourquoi, nous avons mis en accord de retenir ce sous-critère en le regroupant dans le critère stratégique;

Dans le cas d PLN, il y a une faiblesse de la part de l'autofinancement et des subventions de l'État dans le financement des investissements du secteur énergétique. Un examen plus approfondi par SUDJA [1994] montre que les besoins de financements des investissements - à l'exclusion des investissements pris en compte par les organismes étrangers - sont en général largement supérieurs aux capacités réelles de l'entreprise.

Quant à la concentration de la source de financement dans des sources extérieures : la Banque Asiatique de Développement (ADB), la Banque Mondiale (IBRD), US-AID, France, JEXIM (Export- Import- Bank of Japan), elle résulte d'une part d'accord de coopération entre l'Indonésie du PLN et ces organismes. [PURNOMO, 1995].

Les emprunté extérieurs de cet organisme étrangers classifient un crédit à taux privilégié pour les projets énergie électriques comme les facilités de "International Développement Programme" de IBRD ou le "Special Fund" de ADB. Ces ressources sont facilement mobilisables.

Les projets électriques Indonésiens sont souvent étudiés techniquement par les bailleurs de fonds avant que ceux-ci acceptent d'en assurer le financement. C'est pourquoi, la politique de financement est étroitement liée aux techniques de planification. Il est souhaitable que les techniques adaptées par les entreprises pour déterminer ses programmes de développement soient les mêmes que celles des organismes étrangers de financement.

Par contre, dans le cas contraire, le PLN devra développer sa propre capacité d'autofinancement et assurer elle-même une partie de ses programmes et laisser aux institutions étrangères, aux créanciers privés ("*commercial credit*"), ou bien aux participations privés du "*Build Own Operate*" (BOO) ou "*Build Operate Transfer*" (BOT) le soin de financer les projets qu'elle considère comme viables.

Pour procéder à la détermination de l'importance relative de cette sous-critère source de financement, on a pris l'intensité et les définitions opérationnelles pour l'évaluation des projets dans la façon suivante.

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Très bonne	Les sources de financement engagé pour réaliser un projet est supérieur de 85 % du total du budget nécessaire venant de crédits à taux privilégié ( <i>soft loan</i> ).
• Bonne	La ressources de financement engagé pour réaliser un projet sont inférieure de 85 % du total du budget nécessaire venant de crédits à taux privilégié ( <i>soft loan</i> ) et plus que 15 % du reste est réalisé par des emprunts commerciaux ( <i>mixed credit programme</i> ) et des budgets d'Etat.
• Faible	La plus part des ressources des financements engagées pour réaliser un projet font parties d'un le budget d'autofinancement de PLN et de la subvention d'Etat ou bien d'emprunts d'Etat.

En ce qui concerne de ce critère, plus un projet utilise des ressources des financements avec un taux privilégié léger (*soft loan*) plus le projet pourrait donner lieu a une sélection.

#### 6.1.2.5 Critères sur les impacts environnementaux

Compte tenu du consensus qui existe actuellement quant à leur pertinence, nous avons retenu quatre sous-critères environnementaux pour servir de référence aux de l'impact sur l'environnement.

A partir de divers documents d'étude d'impact environnemental liés aux projets électriques proposés et de suggestions faites par des membres de NGO et les spécialistes/experts de l'environnement du PLN, nous avons identifié l'ensemble des critères suivants:

- Sous critère la qualité d'eau et du sol.
- Sous critère écosystème naturel
- Sous-critère pollution de l'air
- Sous-critère changements sociaux

Il est possible de spécifier des éléments de mesure pour des indicateurs qui couvrent des critères de l'impact atmosphérique global comme CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et SPM. En ce qui concerne les autres critères, tous sont apparus impossibles à quantifier, ils doivent être précisés par des analyses systématiques.

Compte tenu toutefois de leur importance dans le contexte d'une évaluation environnementale comparative sur les projets proposés, nous avons fait référence à ces critères seulement sur le plan qualitatif d'après les experts de NOG-WALHI et les responsables concernantes les impacts environnementaux au ITS et au PLN.

#### **a Sous-critère de qualité de l'eau et du sol**

Ce critère concerne toutes les perturbations locales ou régionales de la composition physique, chimique ou biologique de l'eau ou du sol. Les indicateurs correspondants aux problématiques de pollution régionale et locale sont liés à la documentation d'étude de faisabilité de l'impact environnemental et au jugement des experts concernés.

Les responsables de l'environnement du PLN ont évalué leur impact sur l'environnement en utilisant une échelle qualitative à trois points. L'intensité comparative a été établie de la façon suivante:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Majeur	La limite réglementaire pour l'environnement est dépassée
• Moyen	La limite réglementaire pour l'environnement est approchée
• Mineur	La limite réglementaire pour l'environnement n'est pas dépassée.

Donc, plus un projet a un impact fort sur l'environnement moins le projet doit faire l'objet d'une sélection.

#### **b Sous-critère d'écosystème naturel**

Ce critère concerne toutes les perturbations conduisant à la modification en nombre ou en qualité, des ressources, végétales ou animales et de relation et de leurs habitats.

La nature des projets de centrales électriques nécessite la prise en compte de territoire lors de la préparation de l'installation et de la production ce qui implique des interactions avec les écosystèmes naturels.

Les indicateurs qui devraient nous permettre d'illustrer l'importance relative des impacts des différentes variantes d'aménagement sur l'écosystème naturel selon les experts et les responsables consultés sont le nombre d'espèces fauniques identifiées comme enjeu

environnemental, les pertes d'habitats pour les petits rongeurs et les superficies terrestres sounusés à ces nuisances.

Pour déterminer l'intensité de l'impact sur l'environnement provoquée par les projets, il restera à pondérer les éléments de l'environnement qui sont une action subjective qui et fonction des sensibilités environnementales de la population concernée.

A partir des informations fournies par le document d'impact environnemental publié, le spécialiste environnement au ITS se prononce sur la qualité de l'impact en ces termes:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Significatif	Nombre d'espèces (la faune, la flore) désignées menacées et vulnérables susceptibles d'être touchées (agrégation) est important
• Minimal	Nombre d'espèces désignées menacées et vulnérables susceptibles d'être touchées (agrégation) est mineur
• Négligeable	Nombre d'espèces désignées menacées et vulnérables susceptibles d'être touchées (agrégation) est négligeable.

Donc, plus l'impact d'un projet conduit à menacer le nombre des espèces plus le projet pourrait être difficile à sélectionner.

### c Sous- critère de pollution de l'air et d'atmosphérique globale

Ce critère concerne toute activité de projet ayant une incidence potentielle sur la pollution de l'air et les conditions climatiques de la planète. Elles sont provoquées essentiellement par les émissions des gaz à effet de serre.

Les émissions de gaz à effet de serre et les émissions polluantes pour l'air de cette étude les gaz CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et SPM ("*Suspended particle material*"). En ce qui concerne ces critères, nous pouvons définir un indice mesurable pour chaque projet central électrique envisagé. L'estimation effectuée est approximative mais illustre adéquatement l'ordre variance des indicateurs mesurables. Donc, le critère pollution de l'air comprend des critères quantitatifs.

Nous avons retenu le sous-critere qui est relatif aux impacts potentiels sur le réchauffement climatique et à la santé publique. Les classements affectés à ces critères ont été déterminés par les experts de l'environnement du WALHI.

#### **d Sous-critère des changements sociaux**

Ce critère concerne les tensions sociales résultant de modification des modes de vie ou des bouleversements des valeurs sociales courantes. De telles tensions peuvent conduire à la résistance des populations concernées ont alimentant en certain nombre d'inquiétudes, vis-à-vis des conséquences environnementales et sociales économiques d'un projet de centrale électrique.

Actuellement, nous pensons qu'il s'agit d'un critère fort important dans l'évaluation environnementale des projets électriques. Malheureusement, c'est un des critères pour lequel nous ne pouvons pas construire d'indicateurs mesurables.

Il est apparu impossible d'obtenir des indicateurs quantifiables permettant être précise afin de réaliser une analyse systématique. Compte tenu toutefois de leur importance dans le contexte d'une évaluation environnementale et sociale comparable, nous avons donné la préférence à ces critères seulement sur un plan qualitatif.

Le spécialiste de l'environnement du WALHI a retenu les impacts sur les changements sociaux en utilisant une échelle qualitative à trois points. L'intensité comparative a été déterminée de la manière suivante:

Echelle du poids	Définition opérationnelle du critère
• Significatif	La population probablement touchée est perturbée largement par les nuisances produites par le projet
• Minimal	La population probablement touchée et perturbée de façon minimale par les nuisances produites par le projet
• Négligeable	La population probablement touchée et perturbée de manière négligeable par les nuisances produites par le projet

Donc, plus l'impact des changements sociaux d'un projet conduit à perturber la population moins le projet est sélectionnante.

## **6.2 EVALUATION L'IMPORTANCE RELATIVE DES CRITERES**

Chacun des critères, sous-critères et d'intensités appartenant à un même niveau de décomposition hiérarchique ne revêtent pas la même importance dans leur capacité à contribuer à la résolution du problème. Il sera demandé aux évaluateurs ou aux experts pertinents de comparer l'importance relative de tous les éléments de critères pris deux à deux (comparaison binaire).

### 6.2.1 PONDERATIONS DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES CRITERES PRINCIPAUX

Les répondants ou les décideurs ont fourni des jugements sur l'importance relative des critères principaux du premier niveau hiérarchique d'intensité de sous-critère au quatrième niveau de la hiérarchie afin d'évaluer leur contribution à la sélection de projet. La décomposition hiérarchique de notre problème est figurée schématiquement dans de la figure 5.2 à la figure 5.6.

Ces jugements collectés sur échelle numérique peuvent se présenter sous forme de matrice de comparaisons. Les matrices de comparaison résultantes de ces processus sont présentées en ANNEXE I du tableau 1.1 au tableau 1.5. A partir de la, nous pouvons calculer les poids des importances relatives ou les pourcentages des importances attachés à chacun de ces éléments du premier niveau hiérarchique.

Le système d'aide à la décision interactif du logiciel de "Expert Choice™" basé sur la théorie de la procédure d'analyses hiérarchique [ FORMAN and SAATY, 1995 ] a calculé l'importance relative de chacun des éléments de niveau primaire en fonction de l'objectif global poursuivi i.e. les critères : financiers, économiques, disponibilité des ressources énergétiques à long terme, environnementaux, et stratégiques.

Le critère principal pour la sélection des projets électrique de l'Indonésie retenu consiste en cinq critères d'évaluations. Le calcul des priorités résultants des quantifications sur la base d'un consensus de groupe par rapport à ces critères principaux ainsi que la pondération (l'importance relative des critères) et donné dans le tableau 6.1.

**Tableau. 6.1** Résultats de l'application de l'AHP: pondération relative de la priorité l'ensemble critères principaux

Classement	Critères	Pondération relative
1	Financiers	0,478
2	Economiques	0,248
3	Disponibilité des ressources énergétiques à long terme	0,127
4	Environnementaux	0,070
5	Stratégiques	0,077
Ratio d'incohérences = 0,04		

En effet comme l'économie indonésienne est plongé dans la crise, il est logique que le critère associé au problème financier soit la plus important pour évaluer un projet. Donc, le



critère financier a obtenu le poids (l'importance relative) de 47,8 %. Le critère baptisé "économiques" est classé en second dans l'ordre de priorité avec la valeur de 0,248 soit 24,8 % d'importance relative ainsi de suite. Ce classement exprime actuellement la préférence utilisée pour l'évaluation de projets électriques en Indonésie.

## 6.2.2 PONDERATIONS DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES SOUS-CRITERES

La même procédure de l'analyse hiérarchique avec du logiciel "Expert Choice™" est toujours utilisé pour calculer le poids de l'importance relative ou un pourcentage d'importance attaché à chacun de ces éléments de sous-critères de problème de la sélection des projets électriques poursuivis i.e. les critères : financier, économique, ressources énergétique, environnementaux, stratégique au deuxième niveau de hiérarchie.

### 6.2.2.1 Importance relative des sous-critères financier

En effet, en ce qui concerne de sous-critères financiers qui ont beaucoup été utilisé en Indonésie pour l'évaluation des projets de manière conventionnelle, il est logique que le critère associé au taux de rentabilité soit le critère le plus important pour évaluer un projet, parce qu'il est plutôt plus pratique et représentatif pour mesurer l'efficacité des ressources financières.

Donc, le critère taux de rentabilité a obtenu le poids de 26,1 % de l'importance relative pour sélectionner les projets. Le deuxième sous-critère i.e. coût total de production de l'énergie a l'ordre priorité 12,7 % d'importance relative ainsi de suite ( présentée dans le tableau 6.2).

**Tableau. 6.2** Résultats de l'application de l'AHP : pondération relative de la priorité l'ensemble des sous-critères financières

Classement	Sous critères	Pondération de sous critère	Intensité qualitative de sous critère	Pondération de l'intensité
1	Taux de rentabilité	0,261	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande</li> <li>• Moyen</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,169 0,073 0,019
2	Coût de la production	0,127	-	-
3	Valeur actuelle nette (VAN)	0,069	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceptée</li> <li>• None acceptée</li> </ul>	0,061 0,008
4	Taux de récupération	0,022	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande</li> <li>• Moyen</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,014 0,006 0,002
Ratio d'incohérence = 0,07				

#### 6.2.2.2 Importance relative des sous critères économiques

Le tableau 6.3 présente le résultat de la pondération relative de la priorité de chacun des sous critères économiques. Le sous-critère du développement régional a obtenu le poids le plus grand dans cette famille de ce sous-critère i.e. de 13,9 % de l'importance relative pour sélectionner des projets. Nous pouvons également avoir les pondérations d'intensités sur ce sous-critères variées (voir le tableau 6.3). L'intensité qualitative de "significative" a valeur de 10,2 % d'importance relative, "moyenne" et "minimale", respectivement 2,6 % et 1,1 %.

Il nous semble que ce sous-critère s'engage avec politique du gouvernement pour encourager le développement du secteur énergétique au développement des économies régionales.

Le deuxième sous-critère i.e. développement des ressources locales à l'ordre priorité 7,3 % d'importance relative avec la valeur de l'intensité de sous-critère "importance" de 4,6 % d'importance relative.

**Tableau. 6.3** Résultat de l'application de l'AHP : pondération relative de la priorité l'ensemble de sous-critères économiques

Classement	Sous critères	Pondération de sous critère	Intensité qualitative de sous critère	Pondération de l'intensité
1	Développement régional	0,139	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significatif</li> <li>• Moyen</li> <li>• Minimal</li> </ul>	0,102 0,026 0,011
2	Développement des ressources locales	0,073	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importance</li> <li>• Moyen</li> <li>• Mineur</li> </ul>	0,046 0,019 0,008
3	Lien entre industries	0,019	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceptionnel</li> <li>• Bon</li> <li>• Moyen</li> <li>• Insuffisant</li> </ul>	0,011 0,004 0,003 0,001
4	Création d'emplois	0,017	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande</li> <li>• Moyenne</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,012 0,004 0,002
Ratio d'incohérence = 0,05				

### 6.2.2.3 Disponibilité des ressources énergétiques à long terme

Il est cohérent avec la politique nationale de l'énergie indonésienne que l'utilisation du charbon pour les centrales électriques nouvelles soit encouragée. Ce stratégique doit être effectuer afin d'éviter l'Indonésie d'être pays importateurs produit pétrole net rapidement à partir de l'année 2005

Par contre, pour générer devises produit exporté le plus possible, l'utilisation du gaz et du pétrole pour la consommation domestique est restreinte. Ceci est exprimé par l'ordre fourni par les responsables du secteur énergétique indonésien.

Donc, le critère d'utilisation du charbon a obtenu le poids de 5,1 % de l'importance relative pour sélectionner des projets. Il est évident que le dernier sous-critères est l'utilisation du matière pétrole pour central électrique qui va être consacré largement à l'exportation ou à avoir de la plus valeur ajoutée à valeur de l'ordre priorité 4,0 % d'importance relative.

**Tableau. 6.4** Résultat de l'application de l'AHP : pondération de la priorité relative l'ensemble des sous-critères disponibilité de ressources énergétique

Classement	Sous critères	Pondération de sous critère
1	Charbon	0,051
2	Hydraulique	0,032
3	Géothermique	0,022
4	Gaz naturel	0,018
5	Pétrole	0,004
Ratio d'incohérence = 0,09		

#### 6.2.2.4 Importance relative des sous-critères stratégiques

La crise financière Indonésienne en 1998 implique l'endettement important de pays i.e. de plus 140 milliards de dollar et la partie de la société nationale du PLN est plus de 16 milliards de dollar en 1999 [EPIC, 1998]. C'est pourquoi en respectant ce critère stratégique, le répondant a retenu le sous-critère source de ressources financières comme le plus être plus important. Il est logique que ce sous critère contribue à l'importance relative de 4,6 % par rapport au sous-critère coopération industrielle dont la valeur est 0,4 %.

Les résultats de la pondération de la priorité relative de l'ensemble des éléments des critères stratégique sont présenté dans le tableau suivant:

**Tableau. 6.5** Résultat de l'application de l'AHP : pondération de la priorité relative l'ensemble sous-critères stratégiques

Classement	Sous critères	Pondération de sous critère	Intensité qualitative de sous critère	Pondération de l'intensité
1	Ressources de financement	0,046	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne</li> <li>• Moyenne</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,035 0,006 0,004
2	Adaptation technologique	0,020	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facile</li> <li>• Normale</li> <li>• Difficile</li> </ul>	0,015 0,004 0,001
3	Assistance technique	0,007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très bon</li> <li>• Bon</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,005 0,001 <0,001
4	Coopération industrielle	0,004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très bonne</li> <li>• Bonne</li> <li>• Faible</li> </ul>	0,003 0,0075 0,0025
Ratio d'incohérence = 0,07				

#### 6.2.2.5 Importance relative des sous-critères l'impact sur l'environnement

Les projets électriques impliquent l'environnement et plus spécialement les problèmes la pollution l'air. KLEMANN [1994] et KFA/BPPT [1992] affirment que plus 9.3 % de la terre de Java en 1991 et 37.2 % en 2020 sont en danger.

La population est exposée à l'impact de la pollution de l'air est de 14 millions en 1991 et passera à 47 millions en 2020. En plus, il existe un consensus des autorités politiques pour justifier des actions immédiates. Cela a notamment mené à la signature de la Convention sur les changements climatiques lors de la Conférence de Rio, la Convention de Berlin et Kyoto en 1997. L'Indonésie a confirmé son engagement à stabiliser, en l'an 2004, les émissions de gaz à effet de serre au niveau de 1990.

Cette inquiétude liée à la pollution de l'air et aux problèmes d'atmosphériques globaux est reflétée par le poids de jugements des experts de l'environnement donné au sous-critère environnement. La pondération de la priorité relative de l'ensemble des éléments de critères des impacts sur l'environnement est présentée au tableau 6.6.

Comme le montre le tableau des critères de l'impact sur l'environnement, la pollution de l'air conduit au sous-critère les plus importants à envisager par rapport les autres sous

critères, si on considère le critère environnement pour sélectionner des projets. Le sous-critère qualité d'eau et du sol dont le détail de sa description est fournit dans le sous chapitre précédent, est classé en second dans l'ordre de priorité et ainsi de suite. Si nous considérons les sous-critères pollution de l'air, celui de l'émission de NOx est classé en premier ( 1,3 % de l'importance relative), largement devant les autres.

**Tableau. 6.6** Résultat de l'application de l'AHP:  
pondération de la priorité relative l'ensemble des sous-critères  
Des impacts sur l'environnement

Classement	Sous critères	Pondération de sous critère	Intensité qualitative de sous critère	Pondération de l'intensité
1	Pollution de l'air et de l'atmosphérique globale	0,038	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NOx</li> <li>• CO<sub>2</sub></li> <li>• SO<sub>2</sub></li> <li>• SPM</li> <li>• CO</li> </ul>	0,013 0,011 0,008 0,003 0,002
2	Qualité de l'eau et du sol	0,018	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Majeure</li> <li>• Moyenne</li> <li>• Mineure</li> </ul>	0,012 0,004 0,001
3	Écosystème naturel	0,011	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significatif</li> <li>• Minimale</li> <li>• Négligeable</li> </ul>	0,007 0,003 <0,001
4	Changements sociaux	0,004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Significatif</li> <li>• Minimal</li> <li>• Négligeable</li> </ul>	0,003 0,0008 0,0002
Ratio d'incohérence = 0,08				

### 6.3.3 EVALUATION DES PRIORITES RELATIVES AUX CRITERES DE SELECTION DES PROJETS

Les priorités relatives assignées aux critères ou sous critères envisagés par le répondant concernés sont ajustés pour obtenir les priorités relatives de l'ensemble des critères de sélection pour chaque projet proposée comme présenté dans le tableau suivant:

**Tableau. 6.7** Résultat d'application de l'AHP : Importance de la priorité relative de l'ensemble des critères et des sous-critères hiérarchisé de sélection des projets

Classement	Critères des sélections des projets	Priorités Relatives
1	Taux de rentabilité interne (TRI)	0,261 soit 26,1 %
2	Développement régional	0,130 soit 13,0 %
3	Coût total de la production	0,127 soit 12,7 %
4	Valeur actuelle nette (VAN)	0,069 soit 6,9 %
5	Source d'énergie du charbon à long terme	0,051 soit 5,1 %
6	Création d'emplois	0,049 soit 4,9 %
7	Liens entre le projet et les industries	0,048 soit 4,8 %
8	Ressources de financement	0,046 soit 4,6 %
9	Pollution de l'air et atmosphérique globale	0,038 soit 3,8 %
10	Source d'énergie d'hydraulique à long terme	0,032 soit 3,2 %
11	Taux de récupération	0,022 soit 2,2 %
12	Source d'énergétique de géothermique à long terme	0,022 soit 2,2 %
13	Développement des ressources locales	0,021 soit 2,1 %
14	Adaptation technologique	0,020 soit 2,0 %
15	Source énergétique du gaz naturelle à long terme	0,018 soit 1,8 %
16	Pollution de l'eau et du sol	0,018 soit 1,8 %
17	Pollution des écosystèmes naturels	0,011 soit 1,1 %
18	Assistance technique	0,007 soit 0,7 %
19	Coopération industrielle	0,004 soit 0,4 %
20	Changements sociaux	0,004 soit 0,4 %
21	Source 'énergétique du pétrole à long terme	0,004 soit 0,4 %

Comme nous pouvons nous y attendre, le critère taux de rentabilité est le plus important critère pour sélectionner des projets électriques en Indonésie d'après ce groupe des experts de travail. Le critère baptisé de "développement régional" dont le détail de sa description est fournit par sous chapitre précédent, est classé en second dans l'ordre de priorité ainsi de suite.

Le critère de l'utilisation du pétrole comme source énergétique électrique à long terme en Indonésie et son impact sur la pollution des écosystèmes naturels et sur les changements



sociaux et sa contribution à un projet de la coopération industriel est jugé très faible, sa valeur de 0,04 (4%).

Or, les critères des environnementaux et les critères de disponibilité des ressources matériels primer d'énergie en Indonésie sont jugés plus important par l'échantillon des étudiants de l'ITS que celles résultats mentionnés au tableau ci-dessus. Ce rapport est effectué par CIPTOMULYONO [1999] en servant de méthode Delphi et l'AHP pour identifier les opinions des étudiants aux objectives de la politique du secteur d'énergie nationale de l'Indonésie.

#### 6.2.4 ANALYSE DE LA COHERENCE DE L'ENSEMBLE DES JUGEMENTS

Dans le problème de sélection des projets utilisant comme inputs la préférence relative ou le jugement de répondants, il est important de pouvoir vérifier si les évaluations fournies par les répondants sont cohérentes.

La méthodologie AHP étant basée sur une décomposition du problème, les jugements fournis par les répondants sont eux même décomposés et leur nombre est grand. Donc, il nous faut tester à cohérence de l'ensemble.

Les jugements donnés par le répondant sont rarement parfaits. Mais, de trots grandes erreurs peuvent être une néfastes sur le calcul des priorités relatives des éléments de décision (critères et sous-critères). Il suffit en fait que les erreurs de jugement restent à un niveaux "raisonnables". [SAATY, 1984 et SAATY, 1994-a]. L'AHP ne force pas le répondant à être parfaitement cohérent, mais elle offre l'avantage déterminant de pouvoir fournir une mesure de la cohérence de nos jugements.

Un indice de cohérence interne des réponses données par le répondant égal 0 indique que les jugements fournis par l'utilisateur du système sont cohérents. L'indice de cohérence devient grand plus les jugeants sont incohérents.

Dans la pratique en prise de la décision, SAATY [1984, 1994-b] recommande de vérifier que le ratio de l'incohérence ne dépasse pas la valeur de 0,1 (incohérence inférieure à 10 % ). Si, cette dernière est supérieure à 10%, il faut ré formuler les jugements pour améliorer le ratio cohérence.

Le tableau montre le ratio d'incohérence respectivement pour les critères, sous critères et leurs intensités données par des répondants concernés dans cette recherche. Le logiciel "d'Expert Choice" fournit un test de ratio d'incohérence automatiquement et interactivement

pour chaque niveau des éléments de la décomposition hiérarchie complète présente dans le sous chapitre 5.2.

**Tableau 6.8** Résultat de l'indice d'incohérence de l'ensemble attaché aux jugements fournis par les répondants correspondants

Niveau de Hiérarchie	Éléments des décision envisagés	Indice ratio d'incohérence
Niveau 1	Critères principaux	0,04
Niveau 2	Sous-critères	0,07
	• Financiers	0,05
	• Economiques	0,05
	• Disponibilité des ressources énergétiques à long terme	0,09
	• Environnementaux	0,07
	• Stratégiques	0,08
Niveau 3	Intensités des sous critères (en moyenne)	0,054
Ratio d'incohérence d'ensemble = 0,05		

Dans ce tableau, il est évident que les indices ratio d'incohérence obtenue par les jugements fournis par les répondants correspondent pour chaque niveau de hiérarchie de la sélection de projet est cohérente. Le ratio d'incohérence d'ensemble 5 %, plus petit que le seuil de 10% fixé par SAATY[1984], indique que les incohérences dans les préférences des répondants ou du décideur ou des responsables du projet ne sont pas significatives. Il n'est pas nécessaire de réviser le contenu de la matrice des comparaisons.

### 6.2.5 EVALUATION DES PROJETS PROPOSES

Le poids 'd'importance relative ou la priorité des critères, sous-critères ou leurs intensités toutes les éléments de décision par rapport à un autre est déjà mesuré dans une échelle de pondération comme nous l'avons montré dans les sous Chapitre 6.2.1 au sous Chapitre 6.2.3.

Ensuit, à partir l'importance ou de la priorité relative (les pondérations) sur tous les critères, les sous-critères et l'intensité relativement des sous-critères, les décideurs (notre le cas, comme les évaluateurs sont les experts et les responsables du projet concerné) doivent en

fait évaluer tous les projets par rapport à l'ensemble des objectifs poursuivis. Ils doivent traiter cette information qui permettra d'évaluer chacun des nombreux projets proposés par rapport à chacun des critères ou sous critère considéré.

Le tableau 2.1 au tableau 2.5 de L'ANNEXE-II présentent le résultat d'évaluation et les poids donnés à chaque projets de développement proposés par les évaluateurs (les experts/les responsables pertinents) basés d'un consensus pour chacun des critères ou des sous-critères qualitatives retenus d'en système des préférences développé dans les étapes précédentes.

### **6.3 ANALYSE DE LA SOLUTION DU MODELE D'INTEGRATION DE LA METHODE AHP ET LE MODEL GOAL PROGRAMMING**

Avec les coefficients pondération de préférence de  $W_i$  résultant de la méthode AHP, nous pouvons résoudre le modèle programmation mathématique à objectifs multiples qui sont déjà formulé en l'équation (5.1) à l'équation (5.27).

La structure de ce modèle mathématique d'aide à sélection constitue les 144 variables des décisions incluant des variables des déviations/d'écarts et les 84 contraintes rigides pour le type de la solution en nombre entier de zéro - un.

Afin de résoudre de la solution du modèle, nous avons utilisé la logicielle informatique de la programmation mathématique de "*Quantitative System (QS) -VS-3*" qui nous a aidé à faciliter le traitement et le calcul des données intrants aussi l'analyse des les résultats. La résolution chaque modèle a pris du temps prends le temps de la calculation à environ à 1,30 minutes de temps réel (CPU-time).

#### **6.3.1 SOLUTION SUR LES DONNEES DE BASE**

La sélection des meilleurs projets électriques est un problème complexe dont nous parlons sont aussi vastes que l'amélioration de la part du développement sociaux-economiques total, la planification stratégique de PLN, le plan d'allocation des ressources sur les finances, voire même une incertitude dans la de demande d'électricité et les contraintes liés aux ressources des projets. A chacun de ces problèmes ne s'imposent la solution unique simple et réalisable.

C'est pourquoi au étape d'analyse suivant, afin de faire de processus de la validation d'un modèle du modèle d'aide à la sélection, nous devons présenter les solutions en utilisent

plusieurs variations des données, des scénarios et aussi effectuer l'une analyse sensibilité des paramètres du modèle.

Nous sommes intéressées à calculer et à tester la méthode avec les données dérivés de l'information en documents de la "*Corporate Plan and Strategy*" (*RENSALITA*) de PLN[1995] qui est prévue en service pour la planification de l'année 2002/2005. Le tableau 6.9 présent les provisions des demandes totales en puissance de capacité et l'énergie électrique. La liste de caractéristique des projets électriques proposés et ses paramètres pour cet plan est présenté aux tableaux de l'ANNEX-II.

**Tableau 6.9** Projection de la demande en puissance de capacité et en énergie électrique pour la période du plan 2001-2004 du système de Java-Bali

Période de planification	Demande de Capacité en puissance totale en charge ponctuelle (MW)	Demande en énergie électrique totale (GWh)
2001 - 2002	16057	55655,96
2002 - 2003	17402	60175,09
2003 - 2004	18832	65080,26
2004 - 2005	20356	70405,57

Sources de références:

\*Projection de la demande en 'énergie électrique du système de Java-Bali ( la croissance moyenne de 5.7 %).

\*Projection de "*supply and demand*" du système de Java Bali (State Electricity Corporation, PLN, 1995)

\* Contrainte du budget d'investissement disponible pour 3 ans au total de \$ 3353 Million en valeur actuelle.

Le modèle programmation mathématique développé dans notre d'aide à la sélection nous permet de résoudre le problème de sélection et dans le même temps effectuer un calendrier convenable des projets en satisfaisant des nombreux les objectifs/multicritères désirés tant en tenant compte des plusieurs contraintes fixées i.e. la demande en puissance de capacité, en énergie d'électricité ou bien investissement total disponible.

La solution obtenue pour notre cas, formulé en équations mathématiques de (5.1) à (5.27) est présenté dans le tableau 6.10 qu'on a résumé du sortir du modèle calculé toujours par la logicielle de la programmation mathématique de "*Quantitative System Management (QS) -VS-3*".

Parmi des 18 projets de développement de centraux électriques proposés dans la "*Corporate Strategy Planning*" de PLN, le système d'aide à la décision n'a choisi que les 12 projets afin de satisfaire les contraintes-rigides i.e. l'augmentation de la demande nette en énergie électricité et en capacité de puissance pour les 3 ans à venir. Il semble que la plupart

des projets sélectionnés ceux qui leurs sources énergie sont basées énergie hydraulique et de central thermique du charbon (Voir le tableau 6. 10).

Cette solution est en cohérence avec l'objectives désirés ou bien avec la politique énergétique nationale de l'Indonésie c'est-à-dire, pour donner la priorité à l'utilisation de ressource matière énergétique plutôt favorisée pour le charbon et l'hydraulique par rapport au gaz ou bien au pétrole. En plus, cette solution a pris en compte de la considération des critères/objectives collectives divers en multiples des projets.

Ainsi, le modèle en même temps nous permet d'établir un calendrier afin de satisfaire de la demand en puissance ou bien énergie électrique nette durant les années planifiées.

**Tableau 6.10** Résumé des différents projets sélectionnés et ses calendriers:  
(Basé sur les résultats du modèle et la "Corporate Plan" de PLN)

Le développement projets proposés à sélectionner	Projets établis par la "Corporate Plan Strategy" de PLN (*)			Projets sélectionnés à proposer des résultats du modèle		
	2002-3	2003-4	2004-5	2002-3	2003-4	2004-5
1.Paiton I	*					
2.Paiton II		*				✓
3.Tanjung Jati B	*				✓	
4.Gunung Salak	*					
5.Patuha	*					
6.Dieng	*					✓
7.Sarulla	*					
8.Karaha	*					
9.Wayang Windu	*					
10.Drajat	*					✓
11.Jatigede		*		✓		
12.Cimandiri		*		✓		
13.Ayung	*			✓		
14.Maung	*			✓		
15.Cibuni			*	✓		
16.Cipasang		*		✓		
17.Lesti			*	✓		
18.Kali Oyo			*	✓		

(\*) Source: "Corporate Plan and Strategy -Rensalita" [PLN, 1995]

(✓) le projet programmé/sélectionné selon du résultats du modèle

Par cette d'aide à la décision, nous pouvons estimer que les valeurs de la réalisation de chaque objectif quantitatif le plus optimal que l'on peut atteindre en respectent les contraintes de la planification des projets durant cette période.

Par ailleurs, les autres d'information stratégique et décisionnelle que nous avons pu obtenir, à partir de la solution du modèle de la décision, c'est les valeurs des réalisations des

objectives quantifiables aux liés au coût de la production d'électricité "optimale" ainsi que l'émission des gazes polluants pourraient provoquer en concernant la prise en décision des projets pour la période de 2002-2005, comme le montre dans le tableau suivant.

**Tableau 6.11** Solution de la mise en oeuvre du modèle (résultats de l'optimisation des objectifs quantitatifs).

No	Forme de l'optimisation de fonction d'objectif	Valeur d'objectif réalisé
1	Min. de coût total en valeur actuelle	3147, 7 (\$ Million /3 ans)
2	Min. d'accumulation émission de CO <sub>2</sub>	772874,6 (Ton/3 ans)
3	Min. d'accumulation émission de CO	15050,5 (Ton/ 3 ans)
4	Min.d'accumulation émission de NO <sub>x</sub>	77387,7 (Ton/ 3 ans)
5	Min.d'accumulation émission de SO <sub>2</sub>	127967,7 (Ton/ 3 ans)
6	Min. d'accumulation émission de SPM	21944,2 (Ton/ 3 ans)

### 6.3.2 ANALYSE DE SENSIBILITE

Il est important en utilisation du modèle d'aide à la sélection, d'apprécier la solidité du résultat obtenu. L'analyse de sensibilité est donc une phase importante de l'aide à la décision; elle consiste à observer l'évolution du résultat face à des variations des différents paramètres du modèle représentation utilisée.

Les résultats finals du modèle développé dépendent à la fois de l'ordre établi sur ensemble des contraintes, des objectives et de poids relatif utilisé. C'est donc, dans cette étude, des variations des constraints et de la variation du poids du critère sélection que seront menée l'analyse de sensibilité.

#### 6.3.2.1 Analyse de la sensibilité à une variation des contraintes

Les analyses des projets se trouvent souvent en contexte d'incertitude, compte tenu qu'on ne connaît qu'une partie des événements et de l'information ou qu'il est impossible d'accoler une distribution de probabilité à l'occurrence de l'événement.

Nous intéressons ici à la sensibilité de l'affectation à de tout changement dans les contraintes pertinentes du modèle aux résultats final du projet sélectionné et aux objective quantifiable optimal à réaliser.

Pour ce faire, les contraintes du modèle ont été modifiées en sept scénarios différents. Ces scénarios constituent principalement les changements des données sur les contraintes

initiales, i.e. en changement du budget d'investissement disponible, en diminuant ou en augment de la demande en capacité des puissances et en production énergétique.

Nous avons engendré chaque scénario avec la quelle on peut faire d'analyse la valeur "trade of" entre de la réalisation d'objective quantifiable i.e. en satisfaisant de la minimisation d'émission de la pollution de l'air et la minimisation de coût de la production totale d'électrique pendant période de planification concernée.

Le tableau 6.12 présente la solution optimale du modèle résultant des scénarios variés. Ces scénarios utilisés sont résumés dans la note au-dessous de tableau 6.12.

**Tableau 6.12** Comparaison des valeurs optimums des objectives quantitatives : la solution des scénarios divers

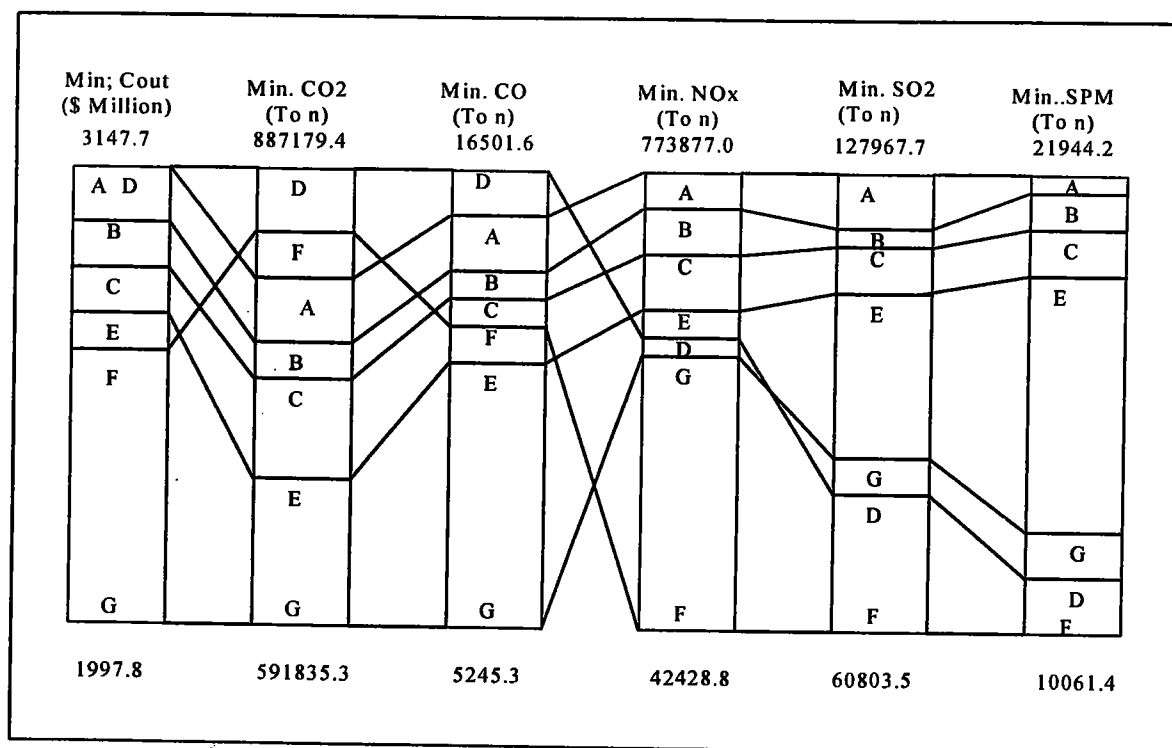
Forme de fonction d'objectif	Valeur optimum d'objectif réalisé						
	A	B	C	D	E	F	G
1.Min. de coût total en valeur actuelle (\$ Million)	3147,7	3021,0	2938,8	3147,3	2741,7	2680,3	1997,8
2. Min. d'accumulation émission de CO <sub>2</sub> (Ton)	772874,6	751006,5	735599,3	887179,4	710094,5	799943,6	591835,3
3.Min. d'accumulation émission de CO (Ton)	15050,5	14535,2	13828,5	16501,6	11254,1	13490,3	5245,3
4. Min.d'accumulation émission de NO <sub>x</sub> (Ton)	77387,7	73923,6	71726,9	51648,1	65221,2	42428,8	43100,0
5.Min.d'accumulation émission de SO <sub>2</sub> (Ton)	127967,7	123687,6	120564,5	71176,7	109466,5	60803,5	73524,2
6. Min. d'accumulation émission de SPM (Ton)	21944,2	21291,9	20786,4	11567,3	18873,1	10061,4	12676,5

Note :

- Scénario A : le scénario de base c-a-d- soit la demande d'énergie et de capacité de puissance, soit la contrainte du budget en investissement total disponible égale à celle qui est planifié dans la "Corporate Plan" de la PLN (donné référence ou donnée initiale)
- Scénario B : la somme de la demande en énergie et de capacité de puissance égale à 97 % des données de référence, mais la disponibilité d'investissement est de 95 % moins de donnée initiale dans en planification de PLN
- Scénario C : la somme de la demande en énergie et de capacité de la puissance égale 95% des donnés de référence, mais la disponibilité de coût d'investissement est 95 % de donnée initiale dans en planification de PLN
- Scénario D : la somme de la demande en énergie et de capacité de la puissance égale à 90% des donnés de référence, mais la disponibilité de coût en investissement est 70 % de donnée initiale dans en planification de PLN
- Scénario E : la somme de demande en énergie et de capacité de la puissance est de 90 % de donnés de référence, mais la disponibilité de coût d'investissement est 90 % de donnée initiale dans en planification de PLN
- Scénario F : la somme de demande en énergie et de capacité de la puissance est de 80% de donnés de référence, mais la disponibilité de coût d'investissement est de 90 % de donnée initiale dans en planification de PLN
- Scénario G : la somme de demande en énergie et de capacité de la puissance est de 70 % de donnés de référence, mais la disponibilité de coût d'investissement est 70 % de donnée initiale dans en planification de PLN

La figure 6.1 illustre la matrice de "cros effect" pour chaque scénario. Chaque colonne représente les fonctions d'objectif quantitatif réalisé dont la forme des fonctions des objectifs est de minimiser avec la valeur idéale la plus basse et la réciproque.





**Figure 6.1** Représentation graphique de la "Cross Effect Matrix" de la solution optimale du modèle avec les scénarios des valeurs des contraintes variées

Par cette représentation peut donner une idée des analyses de "trade off", comme aide à la décision du choix des projets. Par exemple, bien que presque le scénario A et le scénario D provoquent le même coût de la production d'électricité (3147,7 millions de \$ de valeur actuelle pour 3 ans) le premier a rejeté le moins polluant du gaz de CO<sub>2</sub> par rapport le deuxième, en revanche il semble que le scénario D plutôt peut minimiser à produire les gazes polluants soit le gaz de NO<sub>x</sub>, soit le gaz de SO<sub>2</sub> soit le SPM que les autres scénarios. Le même principe qu'on peut analyser la valeur "trade off" pour tant les autres objectifs désires que les scénarios établis.

Pour chaque scénario retenu correspond à une sélection des meilleurs projets et à la une fois avec ses calendriers de la réalisation de projet afin d'atteindre de demandes pertinentes. Le tableau 6.13 présent les solutions optimales du modèle mathématique du "Goal Programming 0-1" développé pour toutes les variations des données d'après les scénarios retenus que nous pouvons obtenir par aider la logicielle "Quantitative System Management (QS) -VS-3".

**Tableau 6.13 Résumé des solutions de mise en œuvre du modèle effectué aux données des scénarios des contraintes variées :**  
les projets sélectionnés et les calendriers pour services l'année de 2002-2004

LISTE DE PROJET PROPOSEE	L'ANNEE DE REALISATION DE PROJET SELECTIONNE SELON DES SCENARIOS UTILISE																	
	SCENARIO A			SCENARIO B			SCENARIO C			SCENARIO D			SCENARIO E			SCENARIO F		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004
1. Patton I																		
2. Patton II			◆		◆				◆				◆				◆	
3. Tanjung Jati B		◆																◆
4. Gunung Salak										◆						◆		
5. Patuha										◆								
6. Dieng			◆							◆								
7. Sarulla										◆								
8. Karaha										◆								
9. Wayang Windu										◆								
10. Drajat			◆										◆					
11. Jatigede	◆																	
12. Cimandiri	◆																	
13. Ayung	◆																	
14. Maung	◆																	
15. Cibuni	◆																	
16. Cipasang	◆																	
17. Lesti	◆																	
18. Kali Oyo	◆																	

Note:

◆ : le projet sélectionné à réaliser, selon des solutions du modèle et des scénarios.

Le tableau précédent présente les projets sélectionnés résultat des actions pour les données de base et les scénarios concernés. Cette modification influence les solutions qui tendent à favoriser le choix des projets centraux électriques qui sont basés sur l'hydraulique et le charbon. Intuitivement, cette performance nous aurait incité à penser que tout est cohérent avec la planification stratégique du gouvernement.

### **6.3.2.2 Analyse de la sensibilité à l'importance relative des critères variés**

Pour connaître le changement de pondération des critères principaux de la sélection des projets pour la réalisation de la valeur objective, nous ferons une analyse de sensibilité.

Les poids relatifs utilisés (le tableau 6.1 et 6.7) par avant pour sélectionner des projets peuvent varier fortement, cependant ceci ne signifie pas une forte sensibilité du résultat pour les raisons:

- Les poids relatifs utilisés sont conditionnés par le respect de l'ordre établi par les experts ou les responsables consultés. Ainsi, si on choisit de fixer poids relatifs des critères à certaine valeur, le poids relatif des autres critères s'en trouvent entièrement déterminés
- Les poids relatifs est choisis par les experts et les responsables concernés en fonction de ses préférences et ses informations ou ses connaissances, il est donc normal que la stabilité du résultat doit donc surtout s'apprécier autour des poids relatifs retenus.

Pour ces raisons, on a décidé de faire varier les poids relatifs de des manières différentes:

- En utilisant des variations de plus forte ampleur autour de poids des critères environnementaux et des critères économiques.
- En utilisant des variations de plus faible ampleur autour de poids des critères financier.

Le tableau 6.14 présente les variations de la valeur des poids relatifs des critères principales, d'une manière générale, chaque ligne du tableau correspond à un système de poids relatifs tous des sous-critères et des l'intensité des sous- critères de la sélection des projets que nous pouvons obtenir par interactive aidé par le logicielle " Expert Choice" qui est basée sur méthode AHP

L'examen du tableau 6.14 montre que, quand on maximise le poids d'un critère, la majorité de poids des autres devient faible. Il est facile de comprendre que si ce poids de critères par exemple environnementaux à augmenter plus que les autres, la réduction proportionnelle des autres poids, car la somme totale est toujours 1.

**Tableau 6.14** Variations des poids relatifs des critères principaux pour faire d'analyse sensibilité

Critères principaux	Variation des poids à considérer					
	Poids 1	Poids 2	Poids 3	Poids 4	Poids 5	Poids 5
Financières	0,168	0,336	0,340	0,389	0,280	0,233
Economiques	0,087	0,087	0,176	<b>0,389</b>	<b>0,560</b>	<b>0,700</b>
Disp. des ressources	0,045	0,045	0,090	0,103	0,074	0,031
Environnementaux	<b>0,673</b>	<b>0,505</b>	<b>0,340</b>	0,057	0,041	0,017
Stratégiques	0,027	0,027	0,055	0,063	0,045	0,019

Le tableau 6.15 présente l'influence, sur le résultat de la solution final des variables d'écarts concernés du modèle pour les objectifs quantitatifs i.e. les objectifs de minimiser le coût de la production et les émissions des gazes CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, SPM consécutivement, où la variation du poids du critère environnemental ont été établis plus forte que les autres critères, et classé comme les poids 1, 2 et 3.

**Tableau 6.15** Solution des objectives quantifiables : la variation des poids où le critère de l'impact sur l'environnement est fixé plus forte que les autres

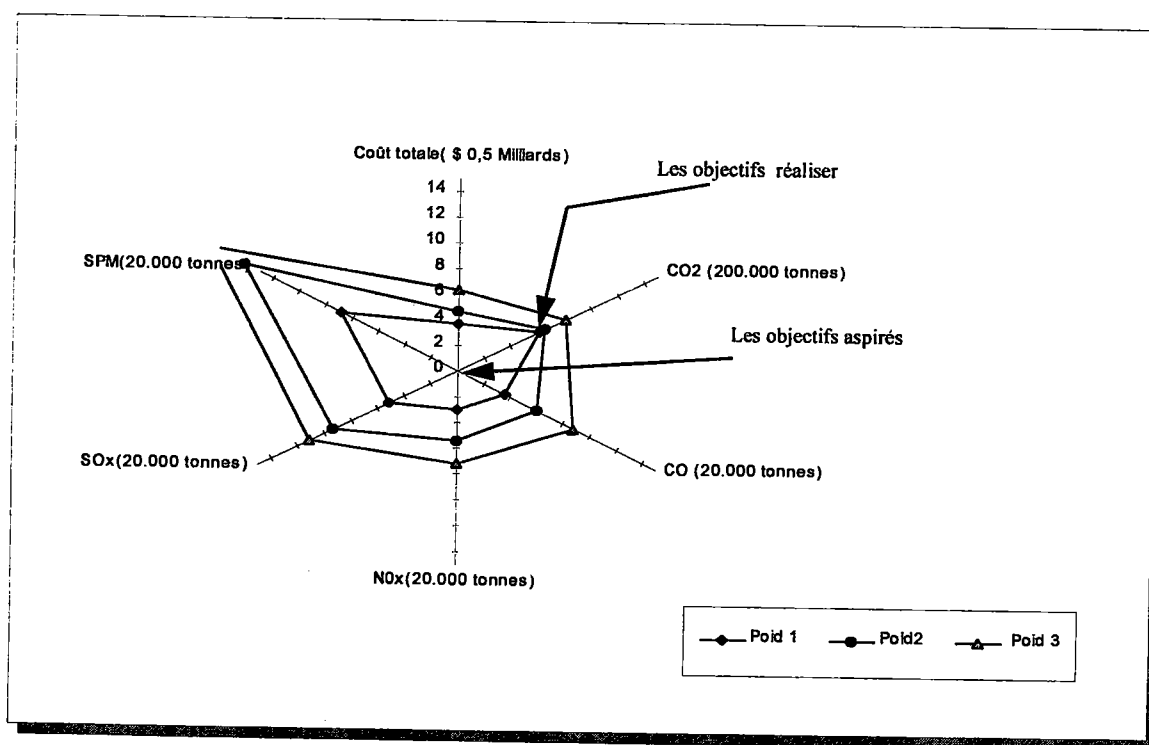
Variables d'écarts liés aux objectifs quantifiables	Valeurs de la solution du modèle		
	Poids 1	Poids 2	Poids 3
Coût total de production (Million \$ en valeur actuelle pour 3 ans) - p <sub>1</sub>	1836,6	2315,7	3162,9
Emission de gaz CO <sub>2</sub> (Ton/3 ans) - p <sub>12</sub>	627117,4	656257,5	807955,3
Emission de CO (Ton/3 ans)-p <sub>13</sub>	3574,6	5951,6	8772,7
Emission de NO <sub>x</sub> (Ton/3ans)- p <sub>14</sub>	30163,0	54855,0	72229,6
Emission de SO <sub>x</sub> (Ton/3ans)-p <sub>15</sub>	51454,3	93575,8	111968,4
Emission de SPM (Ton/3ans)- p <sub>16</sub>	8871,4	16133,79	18805,9

La représentation graphique de la solution optimale des objectifs à atteindre/réaliser avec les scénarios la pondération des critères variés est présentée par la figure 6.2. Ces valeurs sont égales aux valeurs des variables de déviation négatives n (variables d'écarts négatives/les sous achèvement d'objectif) de la solution du modèle. (Voir les équations des fonctions des objectifs de notre modèle mathématique au chapitre 5.3.2.1.). Car nous avons

établi les niveaux des valeurs objectifs ciblés ( les buts désirés) égale au 0. A cause à utiliser l'une forme en "minimisation" pour ces objectifs, nous préférons les variables d'écart positif plutôt les variables d'écarts négatives à minimiser.

Il est évident que les variations fortes de valeur des poids relatifs des ces critères changent les solutions "optimales" du modèle c'est-à-dire les projets sélectionnés et ses calendriers sont changeant. Par ailleurs, notre solution n'est que satisfaite quelques contrains rigides du modèle. En effets, les reste des contraintes rigides ont été converti en buts flexibles et en fin, les solutions du modèle négligent la nécessité de la demande de puissance de capacité et énergie électrique initiale prédéterminée uns certaines périodes.

C'est pourquoi, il est possible dans notre solution la réduction des émissions des gaze polluants est suivie par la réduction du coût de la production d'électricité. Car on a réduit de la demande (puissance et énergie électrique) initiale. Cependant, on peut remarquer que l'efficacité d'approcher les valeurs des objectives ciblés est différente comme le montre dan la figure suivante (voir la figure 6.2).



**Figure 6.2** Analyse de sensibilité des poids des critères : les résultats optimaux des objectifs quantifiables à atteindre.

Le tableau 6.16 présente l'influence, sur le résultat de la solution final des variables de déviations (d'écarts) concernés du modèle pour les objectifs non quantitatifs i.e. les

objectifs de maximiser : le taux de rentabilité interne (TRI), le taux de durée de récupération (TRI), la valeur actuelle nette (VAN), le développement régional (DR), et de minimiser de la durée de récupération (DR) où la variation du poids du critère économique retenu ont été établi plus forte que les autres critères, et classé comme les poids 4, 5 et 6.

**Tableau 6.16** Solution des objectives qualitatifs: la variation des poids où le critère économique est fixé plus forte que les autres

Variables de décision d'écarts liées aux objectifs qualitatifs	Valeurs de la solution du modèle		
	Poids 4	Poids 5	Poids 6
T.rentabilité interne -TRI ( $n_2$ )	1,95	1,89	2,57
T. durée de récupération -TDR ( $p_4$ )	0,06	0,02	0,03
Valeur actuelle nette-VAN ( $n_3$ )	0,59	0,55	0,83
Adaptation technologique-TA ( $n_{18}$ )	0,14	0,14	0,13
Développement régional-DR ( $n_6$ )	1,36	1,28	1,59
Matière énergie primaire - DE ( $n_9$ )	0,64	0,60	0,49

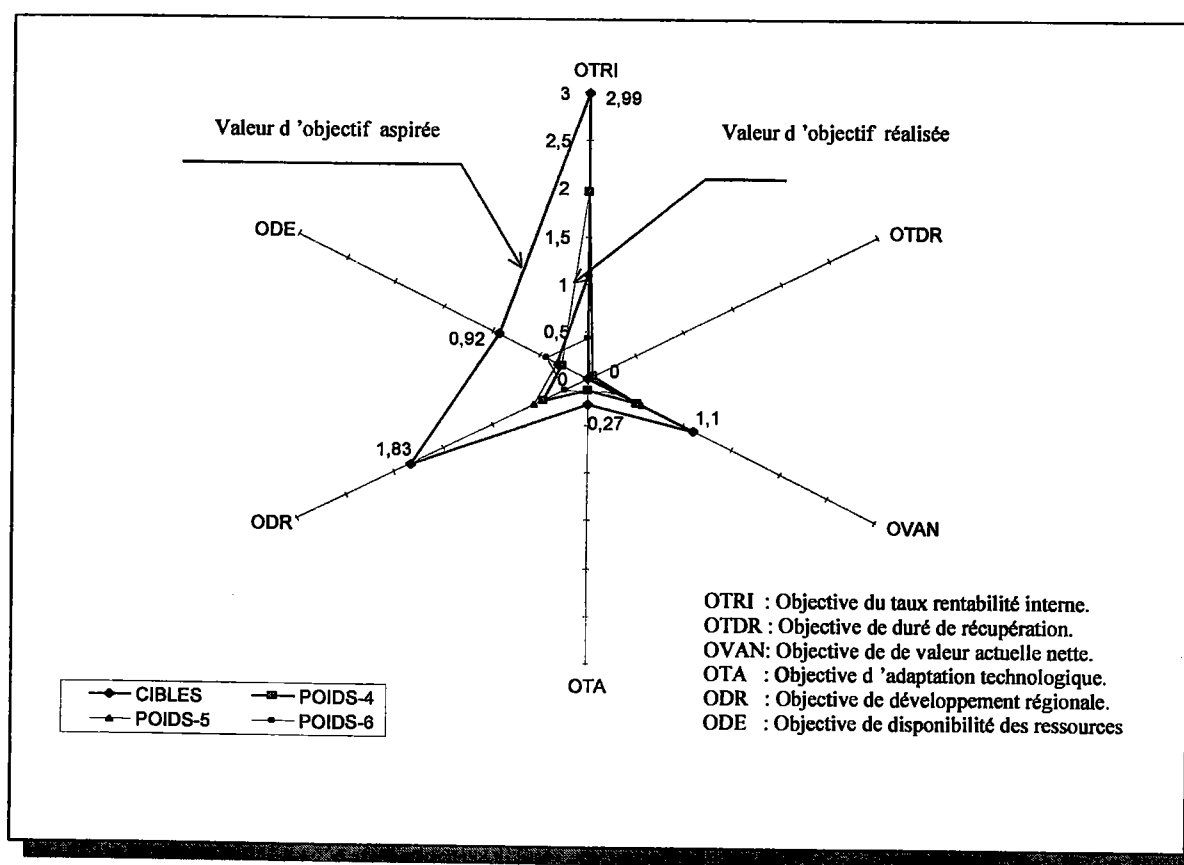
La figure 6.3 présente l'influence des variations du poids des critères où le poids de critère économique établi est plus forte que les autres i.e. classifiés comme le poids 4, 5 et 6.

Comme le montre sur la figure ci-dessous, avec les pondérations variées, les objectifs à atteindre/réaliser (qualitatif) ont une tendance différemment à approcher les buts aspirés.

Les valeurs des objectifs réalisés à atteindre ont été calculées par la déviation entre les valeurs des objectifs désirés/aspirés et les variables de déviation (d'écarts) obtenus de la solution du modèle (Voir les équations des fonctions des objectifs concernés dans notre modèle mathématique au chapitre 5.4.2.1). Pour en maximisation d'un objectif, par exemple le taux de rentabilité (TRI), on préfère la déviation négative- $n_2$  (le sous achèvement) plutôt que déviation positive  $p_2$  (le sur achèvement)- à minimiser. Pour cela, on a établi les buts désirés, comme les niveaux des aspirations, en échelle suffisamment élevée pour être supérieur à la totale d'échelle des projets sélectionnés. Autrement, en minimisant d'un objectif, par exemple la durée de récupération ( $p_4$ ), les buts désirés comme les niveaux des aspirations ont été fixés en échelle suffisamment baissée de 0.

Grâce des variables d'écarts associés aux objectifs préférés, obtenus par la solution du modèle Goal Programming, nous permettront à mesurer "les distances" entre le niveau

des valeurs ciblées/aspirées et des valeurs des objectives réalisés ou à atteindre. Cependant, il semble que chaque poids retenu a son efficacité d'approcher ses cibles différemment.



**Figure 6.3** Analyse de sensibilité des poids des critères : les résultats optimaux des objectifs qualitatifs à atteindre



## CHAPITRE 7

### CONCLUSION

#### 7.1 SOMMAIRE

Notre étude principalement est focalisée sur le problème de la sélection des projets du secteur public où l'on s'efforce d'atteindre simultanément une large variété d'objectifs, de respecter et de satisfaire les critères de la sélection en même temps les contraintes. Les objectifs ou les critères qui se révèlent les plus conflictuels sont aussi nombreux que divers.

Nous proposons un modèle intégré combinant la programmation mathématique à objectifs multiples du Goal Programming 0-1 et d'aide multicritère à la décision de la Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP). Ils peuvent avoir la capacité d'être utilisés pour l'aide au choix des projets respectant les calendriers (les ordonnancements), concernant le problème budgétaire incertain et faciliter la compréhension de solution "optimale" lorsque les paramètres des projets sont changés. Cette démarche nous permet de faire une analyse "*trade off*" et une analyse de sensibilité qui nous aide à la sélection des projets le plus satisfaisant.

Pour effectuer la pondération (importance) relative des critères retenus, nous avons choisi la méthode AHP comme méthode de modélisation multicritères et nous avons montré que cette méthode nous permet de donner facilement des formes opératoires aux modèles des préférences des critères ou des décideurs. Elle nous permet également de formaliser les relations hiérarchiques des problèmes de décision complexe et grâce à cette démarche nous fournissons l'intensité des jugements des critères considérés pour le développement des projets étudiés.

Le modèle d'aide à la décision développé fourni aux responsables de projet ou bien aux décideurs des informations importantes et une aide considérable pour comprendre tous les aspects du problème de l'évaluation des projets.

Cette démarche prend en considération tous les critères d'évaluations de projet et tous les effets intangibles/tangibles des propositions liées aux investissements de projet électrique.

La méthode AHP peut également faciliter l'emploi de l'information qualitative, et la possibilité de communication entre l'homme d'étude et les experts du système, augmentant

ainsi la quantité des informations disponibles pour l'un et la croyance en l'utilité du modèle de décision pour les autres.

L'approche est donc significative car elle essaie de donner une forme opératoire au modèle de l'acteur ou de construire des scénarios et étudier les conséquences des ces décisions.

Le modèle multiobjectif du Goal Programming 0-1 a été choisi comme méthode d'optimisation. Parce qu'elle nous permet d'optimiser plusieurs des objectifs du problème de sélection des projets et de faire une analyse "*trade off*" entre les objectifs réalisés.

Pour employer les critères ou sous-critères de sélection de projet dans le modèle d'aide à la décision, il est effectué par (i) dériver les priorités des critères qualitatifs du projet après avoir obtenu des jugements des experts ou des décideurs; (ii) utiliser les priorités ou l'importance relative des critères/objectifs comme coefficients dans la fonction objective du modèle de la programmation mathématique à but multiple du Goal Programming

Il est nécessaire de noter que le développement de notre modèle de multiobjectif pour la sélection des projets est basé prudemment sur les "suppositions analytiques" théorique et pratiques. Mais, il faut noter que les données utilisées dans ce travail sont incertaines. Il est difficile à prévoir les "événements futurs" à cause de la rareté des données en terrain, du changement économique et politique nationale, du développement technologique et de sa valeur, du changement écologique et autres changements imprévisibles.

Bien que d'analyser de sensibilité est une d'approche à surmonter, il reste encore un problème. Car les scénarios variés qui effectuer doivent être triés et le décideur n'envisage que la seule solution optimale basée sur ces scénarios.

Quant au cas de sélection de développement des projets électriques du système de Java-Bali, on trouve que les éléments de décision hiérarchiques. réfléchissent les critères dont l'importante dans la prise de décision sont groupé dans cinq catégories principales (critère majeur): (i) critère financier ; (ii) critère économique; (iii) critère de disponibilité de ressources en matière d'énergie à long terme (iv) critère stratégique (v) critère environnement

Nous avons décomposé les critères majeurs en vingt un des sous-critères différents et vingt cinq des intensités qui ont une influence différent sur le projet à sélectionner. Ils sont classifiés comme le critère qualitatif tant que quantitatifs. Les priorités intensives pour tel sous-critère ont été également spécifiées.

L'information apportée par l'analyse de sensibilité dans notre démarche est particulièrement importante. Elle permet de juger avec finesse de la solidité des objectifs obtenus, d'identifier les projets retenus dont l'affectation ou le rangement pose un problème et d'apprécier l'importance et l'influence de différents paramètres du modèle entrant en jeu.

Bien que le cas retenu dans cette étude à focaliser à la sélection des projets électrique de système Java-Bali en Indonésie, mais l'approche développée peut être appliquée aux d'un grand nombre problématique de la sélection des projets variés.

## 7.2 CONTRIBUTION ET LIMITATION

A l'issue de cette thèse, nous voudrions mentionner quelques points forts, signaler les faiblesses éventuelles et présenter les voies qui s'ouvrent comme perspective pour la recherche future.

Afin de surmonter la méthode existant et de fournir de l'information pertinente sur le problème de prise de décision dans la sélection des projets, cette recherche propose d'un d'aide à la décision combinante les méthode multicritère de AHP et la méthode multiobjectif du Goal Programming 0-1.

Cette approche, en cadre méthodologique, constitue un outil nouveau pour sélectionner et optimiser des projets au moins pour les cas des développements des projets Indonésiens.

Par ailleurs, l'utilisation le modèle d'aide à la sélection développé permet de prendre en compte tous les critères pertinents en gestion de projets, quelle que soit leur origine et leur forme, et de tirer le meilleur parti de l'expérience des professionnels ou des expert.

Grâce à l'utilisation de méthode multicritère et multiobjectif en intégré, notre méthodologie permet de bénéficier des avantages respectifs de ces deux méthodes. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, les deux méthodes ont des limitations lorsqu'elles ont individuellement appliqué aux problèmes de prise de décision. Donc, une combinaison correcte des deux méthodologiques peut efficacement manipuler les deux critères différents, soit qualitatifs et quantitatifs, soit le problème de sélection et le problème d'allocation.

Nous n'avons pas seulement mis au point une démarche pour sélectionner les projets mais aussi pour "optimiser" les ressources des projets. Ce problème est fondamental dans tous les méthodes multicritères, **mais qui a toujours été passé sous silence lors de leur application.**

Nous avons aussi élaboré une approche par l'utilisation de la méthode AHP pour définir les importances relatives utilisées dans la fonction des objectives du modèle "Goal Programming". Ceci répond à la critique dirigée contre le classement arbitraire des objectifs pour établir l'ordre des priorités.

La méthodologie développée dans ce travail a été élaborée à l'aide d'outil très simple (programme mathématique de base, la logicielle informatique commerciale abondante) et est facile à comprendre et à utiliser aussi moins chère et flexible.

Des résultats intéressants sont obtenus par l'utilisation de cette démarche proposée ce sont :

- identifier la sélection des projets d'une façon compréhensive, structurée et systématique qui permet de faciliter la prise de décision en groupe.
- notre modèle d'aide à la décision est non seulement simple, mais aussi prend en compte, dans une vision systémique, les variables externes/internes qualitatives ou quantitatives. Elle prend en compte, également, les informations qui ont été basées sur l'expérience ou jugement des experts (information non officielle) sur diverses dimensions sans avoir de tendance, dans la mesure du possible, et être subjectif.
- utilisation de méthode AHP permet aux décideurs ou aux experts (c/o, les responsables du projet) de vérifier leur jugement pour affecter des indices d'incohérence

Bien attendu, nous pensons qu'il reste encore un certain nombre de points faibles au-delà de ceux développés dans cette thèse.

La plus part des modèles d'aide à la décision, sinon presque par tous, sont limités et sans supposition structurée, ils sont difficiles à résoudre la plupart des problèmes complexes des gestions.

Les groupes d'experts et les responsables des projets (c/o les répondants) qui ont été tirés de leur préférence et de leurs opinions n'ont pas été choisis par au hasard. Donc, leur

comportement ne peut pas être utilisé pour généraliser les opinions de tous les experts d'Indonésie ou les publics en général au développement du secteur énergétique en Indonésie.

Les plus parts des fonctions mathématiques utilisés dans notre modèle est formulé en forme de fonction linéaire. Il semble que cette forme a évité d'énormes problèmes réels qui sont inhérents aux formes de fonction non linéaire. Ceci n'est pas rendu toujours possibles la linéarisation du problème traité, qui dans sa nature est non linéaire par exemple la fonction de coût de production , les fonctions d'économie d'échelle de la production d'électricité etc.

### 7.3 PERSPECTIF DE RECHERCHE FUTURE

Nous pensons pourtant qu'il reste encore un certain nombre de points à approfondir et à développer au de là de ceux développés dans cette thèse.

D'abord pour rester opérationnelle, ce modèle doit vivre, être tenu à jour, constamment révisé et, au besoin, modifié en fonction des changements d'informations ainsi des structures des critères dans la hiérarchie de la décision pour sélection des projets en Indonésie. Sur la cette voie le discipline comme celle de la Veille Economique et de la Veille Technologique peuvent contribuer à l'augmentation de qualité de l'information nécessaire systématiquement. La qualité de l'information dans le processus modélisation de décision dans la Recherche Opérationnelle est une "conditio sine quo none". Elle est indispensable afin de construire les modèles de décision représentative.

Un travail intéressant au niveau de la modélisation ainsi que pour l'application et les voies de recherche qui s'ouvrent, nous pensons développer dans l'avenir les points suivants:

- Amélioration du modèle d'aide a la décision afin de pouvoir tenir de l'existence des décideurs en groupe. En réalité, une personne ou un groupe de décideurs ne peut pas prendre une décision vis à vis d'un problème de choix public comme du développement de projet électrique. Il faut donc, définir un "groupe de référence" représentatif et des groupes d'intérêts qui affectent ou sont affectés par le développement du projet, contre partie de la représentative du groupe d'experts c'est que nous avons fait dans ce travail.
- L'utilisation des autres approches soit "expert système" (intelligence artificielle), soit logique floue, soit Multi Attribut Utilité Théorie (MAUT) soit ELECTRE, en remplaçant la méthode AHP proposée, pour construire le système de pondération des critères/objectifs peut être utile.

- Développement un modèle de la façon interactive entre l'utile pour aboutir des préférences et le modèle d'optimisation utilisée et les décideurs /l'homme d'étude. Ce modèle interactif permet d'effectuer un "dialogue" entre le modèle, les données et les résultats. Ceci aide considérable pour comprendre tous les aspects du problème lors de la prise de décision pour la sélection des projets auquel il doit faire face ainsi que les implications de ses préférences et de son système d'évaluation.
- Construire un modèle avec coefficients ou contraintes aléatoires et peut être floues est une approche directe efficace pour surmonter le problème de l'incertain. Par exemple, les coefficients de la fonction d'objectif et de contrainte qui sont possible lié à la demande d'énergie, à l'utilisation technologies, à la disponibilité des ressources financières etc. peuvent être exprimées par l'utilisation de données de la probabilité de distribution. Si telles données de distribution de coefficient correspondant sont disponibles, il y aura beaucoup de place ensuite pour développer ce modèle. Néanmoins, il est difficile d'obtenir une telle distribution de probabilité.

## LISTE DES REFERENCES

- ACHMADI, F.[1999], *"Intelligence Compétitive et Compétitivité: L'Impact des Changements Technologiques sur le Développement Economique d'une Entreprise"*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle Faculté des Sciences et Technique de Saint Jérôme. Faculté de Droit, d'Économie et des Sciences, Université d'Aix Marseille III, France.
- ACKOFF, R.L.[1982], *Scientific Method*. Willey & Sons, New York.
- ACKOFF, R.L.[1979], "The future of operational research is past". *Journal of Operational Res. Soc.*, Vol. 30, p. 93-104.
- ADAMS, J.R, BARNT, S.E, MARTIN, M.D.[1979], *Managing by project management*, Universal Technology Corporation.
- ADB (ASIAN DEVELOPMENT BANK) [1993], *Environmental Guideline For Selected Industrial and Power Development Project*. Office of the Environment Asian Development Bank, Manila.
- ADB (ASIAN DEVELOPMENT BANK) [1996], *Electricity Utilities Data Book for Asian and Pasific Region*, Manila
- AL-SHEMMERI, AL-KLOUB, B., PEARMAN, A.[1997], "Model choice in multicriteria decision aid". *European Journal of Operation Research*, Vol. 97, p. 550-560.
- ANSOFF, H.I.[1975], *Stratégie du développement de l'entreprise*. Editions Hommes et Techniques.
- ARCHIBALD, R.D.[1975], *Managing High Technology Programs and Projects*, John Willes & Sons.
- ARENAS, P.M, TEROL, A.B, LAFUANTE, R, RODRIGUEZ U. [1998], "A Fuzzy Goal Programming Approach to a Portfolio Selection" Presented at *The Third International Conference on Multiobjective Programming and Goal Programming (MOPGP'98): Theory and Application*, Université de Laval, 28 May 1998, Québec City-Québec, Canada.
- AWERBUCH S., DILLARD J., MOUCK, T., PRESTON, A. [1995], "Capital budgeting, technological innovation and the emerging competitive environment of the electric power industry". *Energy Policy*, Vol. 24, No. 2, p. 195-202.

- BABUSIAUX, D. [1990], *Décision d'investissement et calcul économique dans l'entreprise*. Editions Economica, Paris.
- BADIRU, A. [1992], *Project Management Tools for Engineering and Management Professionals*, G.A., Institute of Industrial Engineers.
- BAKER, N.R.[1980], "R&D Project Selection Models : An Assessment". *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol.EM-21, p.165-171.
- BANA, C.A., CASTA (Ed.) [1992], *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer Verlag, Berlin.
- BANQUE MONDIALE. [1992], "Résultats de l'évaluation retrospective des projets 1991", BIRD, juin, Washington.
- BAKER, N., FREELAND, J.[1975]. "Recent Advances in R&D Benefit Measurement and Project Selection Methods", *Management Science*, Vol.21, No.10, p.1164-75.
- BAPPENAS [Bureau de Planification du Développement National] [1995], "National Policy of the Development of Electric Power Systems in Indonesia", Jakarta.
- BAPPENAS [Bureau de Planification du Développement National] [1994], "Proyek Pembangunan Perlistrikan dan Sistem Jaringan Jawa Bali", Jakarta.
- BARAKA, N.,[1992], *Méthode Comparées de choix de projets en vue de développement*. Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle Faculte des Sciences et Technique de Saint Jerome. Faculté de Droit, d'Economie et des Sciences, Université d'Aix Marseille III, France.
- BEHRENS, W., HAWRANEK, P.M. [1995], *Manual For The Preparation of Industrial Feasibility Studies*. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Vienna.
- BELTON, V.[1986], "Comparaison of the Analytic Hierarvjy Process and a Simple Multiattribute Value Function". *European Journal of Operation Research*, Vol.26, No.1, p.7-21.
- BENCHIMOL, G., JACOB, G.[1992]. *Décision de groupe assistée par ordinateurs*. Hermès, Paris.
- BERNHARD, R.H., CANADA, J.R.[1990], "Some Problems Using Benefit/Costs Ratios with Analytic Hierarchy Process: Technical Notes", *The Engineering Economist*, Vol.36, No.1.
- BERNHARD, R.H.[1979], "Modified rates of return for investment projects evaluation : A comparison and critique". *The Engineering Economist*, Vol.19, No. 3, Spring.



- BERTALANFFY, Ludwig Von. [1973]. *Théorie général des systèmes*, Dunod, Paris.
- BKEN,[1995], *Kebijaksanaan Umum Bidang Energi Untuk Pembangunan Indonesia*.Departemen Pertambangan dan Energi Indonesia.
- BOHANEK, M., V., RAJKOVIC, B.SEMOLIC , A. POGACNIK [1995], "Knowledge-based portfolio analysis for project evaluation". *Information & Management*, Vol. 28, p. 293- 302.
- BOSE, R.K., ANANDALINGAM G., [1995], "Sustainable Urban Energy-Environment Management With Multiple Objectives". *Energy*, Vol. 21, No. 4, p. 305-318.
- BP (British Petroleum), [1985-1996], "Statistical Review of World Energy: Report Country on Indonesia", London., UK.
- BRANS, J.P, VINCKE, P.H.[1985], "A Preference ranking organisation method: the PROMETHEE Method". *Management Science*, Vol.31, p.647-656.
- BRIDIER, M., SERGE M.[1995], *Guide pratique d'analyse de projets-évaluation et choix des projets*. Economica, Paris.
- BROS, T. [1994], *Le Management Global de la Recherche et Developpement..* Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle: Ecole Central de Paris.
- BUSINESS WEEK [1999], "Rebuilding ASIA: with new growth come the first signs of a radically altered economy", *Credit Lyonnais Securities Asia* , Septembre 29.
- CAMBRON, K.E., EVANS, G.W.[1991], "Layout Design Using Analyic Hierarchy Process". *Computer Industrial Engineering*, Vol.2, No.2, p.211-229.
- CASTELLO, D.[1983]. "A Practical Approach to R&D Project Selection". *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.23, p.353-368.
- CHANG, N.B, WANG, S.F.[1997], "A Fuzzy Goal Programming Approach for the Optimal Planning of Metropolitan Solid Waste Management Systems". *European Journal of Operation Research*, Vol.2 , No.2, p.303-321.
- CHANKONG, V., HAIMES, Y.Y.[1983], *Multiobjective decision making: théory and methodology*. North-Holland, New York.
- CHEN, X.[1994]. " La privatisation des industries électriques eb Asie du Sud-Est: Causes Modalites et Modèle". *Revue d'économie industrielle*, Vol.3, No.69, p.9-39.

- CHERVEL, M.[1998], *Evaluation et programmation en économie-l'analyse de projets*. Publisud, Paris.
- CHERVEL, M. [1995], *L'évaluation économique des projets: calculs économiques publics et planification*. Publisud, Paris.
- CHERVEL M., LE GALL M. [1976], *Manuel d'évaluation économique des projets. La méthode des effets*. Collection Méthodologie de la Planification no.10, Ministère de la Coopération, Paris.
- CHERVEL, L. [1977], *Méthode de l'ONUDI et méthode des effets pour l'évaluation des projets*. Collection Méthodologie de la Planification no.12, Ministère de la Coopération, Paris.
- CHOKSI, A.M, MEERAUS, L, KENDRICK, D.A, STOUTJESDIJK, A.J [1982].La programmation des investissements industriels: Méthode et étude de cas. Banque Mondiale, Economica, Paris.
- CIPTOMULYONO, U. [ ], "Multiobjective Programming Approach For Waste Management Strategy in Developing Country". *Journal of Environmental Management*, Academic Press, London (à paraître).
- CIPTOMULYONO, U. [1999], "Fuzzy Goal Programming Model for Determining Priorities in The Analytic Hierarchy Process (AHP) ". *Journal of Indonesian Sciences Communication*, Vol.3, No.1. Paris.
- CIPTOMULYONO, U.[1999], " Application of Delphy Method and The Analytic Hierarchy Process (AHP) For Determining the Priorities of National Energy Policy". Presented at *The 10<sup>th</sup> National Conference on Industrial Technology*, 18 February 1999, Surabaya, Indonesia.
- CIPTOMULYONO, U. [1998], "An Integrated Model Using The Analytic Hierarchy Proces and Goal Programming for Environmental Water Polluted Management ". Presented at *The Third International Conference on Multiobjective Programming and Goal Programming (MOPGP'98): Theory and Application*, Université de Laval, 28 May 1998, Québec City-Québec, Canada.
- CIPTOMULYONO, U. [1996], " Fuzzy Goal Programming Model for Aggregate Production Planning". *Journal of IPTEK*, Vol.7, No.2, May.
- CIPTOMULYONO, U. [1991], "*Development of Goal Programming Model of Environmental Quality Management for Water Polluted on Surabaya River East Java*". Thesis of Master Engineering Science (*inedit*) in the Technology Development Centre Unit, The Faculty of Engineering-University of Melbourne, Australia.

- CLELAND D. I. , W.R.KING. [1983], *Systems Analysis and Project Management*. McGraw-Hill International Editions.
- CLELAND D. I.[1985], "Prudent and Reasonable Project Management". *Project Manajement Journal*, Vol.XVI, p.90-97
- COFFIN, M. A., B.W TAYLOR III,. [1996], "R & D project selection and schedulling with filtered beam search approach". *I.I.E. Transactions*, Vol. 28, p. 167- 176.
- CRISTENSEN, J.M. , R.V.V. VIDAL. [1990], "Project evaluation for energy supply in rural areas of developing countries". *European Journal of Operational Research*, Vol. 49, p.230-246.
- CUEILLAR, G.[1992]. "*Le Management de la R & D: Une approche méthodologique par la gestion de projet*". Thèse de 3<sup>ème</sup> Cycle Faculte des Sciences et Technique de Saint Jerome. Faculté de Droit, d'Economie et des Sciences, Université d'Aix Marseille III, France.
- DANILA, N. [1984], "Méthodes d'évaluation et de sélection des projets de recherche". *Revue Française de Gestion*, Janvier-Février, p. 47-52.
- DANILA, N. [1985], *Pratique française des strategies technologies bilan de l'utilisation des methode d'évaluation et de sélection des projets de recherche*. Institute de Management Public, Fondation national pour l'enseignement de la gestion, 216 p.
- DANILA, N. [1989], "Strategic evaluation and selection of R & D projects". *R & D Management*, Vol. 19, No. 1, p.47-62.
- DEAN, B.V, SCHNIEDERJANS, M.J.[1991], "A Multiple Objective Selection Methodology for Strategic Industry Selection Analysis". *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol.38, No;1, p.53-62.
- DECLERK, R.P., EYMERY, P., CRENER, M. A. [1980], *Le management stratégique des projets*, Editions Hommes et Techniques.
- DESPOTIN M., MOSCAROLA J., SPRONK J.,[1983], "A user oriented listing of multiple criteria decision methode". *Revue Belge d'informatique et de Recherche Opérationnelle*, Vol. 23, No.4, p. 3-110.
- DOU, H.[1997], "Technology Watch and Competitive Intelligence: the European Way". *Competitive Intelligence Review*, Vol. 8(1), 78-84.
- DOU, H.[1995], *Veille Technologique et Competitivité: L'Intelligence Economique au service du développement Industriel*. Dunod, Paris.

- DORFMAN, R. [1996], "Why Benefit-Cost Analysis Is Widely Disregarded and What to do about it". *Interfaces*, Vol.26, No.5 September-October, p. 1-6.
- DURAND, D. [1996], *La systématique. Que sais-je.* Presses Universitaires de France, Paris.
- DYER, J.S., FISHBURN, P.C., STEUER, WALLENIUS, J., ZIONTS.S.[1992], "Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory : The next tent years". *Management Science*, Vol.38, p.645-654.
- DYER, J.S.[1990], "Remarks on The Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, Vol.36, p.249-258.
- EDF (Electricité de France), [1980 ], *Le calcul économique et le système électrique: Principe élémentaire.* Eyrolles, Paris.
- EPIC (Electric Power Information Center) [1998], "Jumlah Pelanggan PLN, Energi Listrik Terjual dan Pendapatan Per Kelompok Tarif", PLN.
- ETTINGER, J.C. [1995], "Pratiques d'évaluation et de sélection de projets d'activités nouvelles en Europe". *Revue Française de Gestion*, Janvier-Février, p. 45-57.
- FORMAN, E. H. , PENIWATI, K. (1998), "Theory and Methodology: Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research* 108, 165-169.
- FORMAN, E.H , SAATY T.L. [1995], "*Expert Choice : Decision Support Software*". Expert Choice, Inc., Mc Lean, Virginia.
- FORMAN, E.H.[1985], "Decision support for Executive Decision Makers". *Information Strategy : The Executive Journal*, p.4-14
- FRAIX, J.[1988], *Manuel d'évaluation des projets industriels.* De Boeck Université, Bruxelles.
- FRAZELLA, E.D.[1985], "Suggested Technique Enable Multicriteria Evaluation of Material Handling Alternatives", *Journal of Industrial Engineering*, Feb., p.42-48.
- GARRABE, M. [1994], "*Ingénierie de l'évaluation économique*", Ellipses.
- GASS, S.L. [1986], "A Process for Determining Priorities and Weights for Large Scale Linear Goal Programmes". *Journal of Operational Research Society*, Vol. 37, No. 8, p. 779-785.
- GENNE, M. [1996], *Investissement et Environnement : Les méthodes d'évaluation de projets.* Economica, Paris.



- GIARD, V.[1991 ], *Gestion de Projets*. Collection Gestion. Economica
- GOICOECHEA, HANSEN, DUCKSTEIN. [1982], *Multiobjective decision analysis with engineering and business application*. Wiley and Sons.
- GOMES L.F.A.M.,[1991] "Quality Management-Multicritéria Evaluation and Decision Making". *Actes du Congrès de Génie Industrielle Tome 2*, Mars, p. 113-122.
- HAIMES Y.Y., CHANKONG V., [1985], *Decision making with multiple objectives*. Springer.
- HANNAN, E.L.[1985], " An Assessment of some criticisms of Goal Programming". *Computers Operational Research*, VOL.12, p.525-541.
- HARKER, P.T., VARGAS, L.G.[1990], "Reply to 'Remarks on the Analytic Hierarchy Process' by J.S Dyer"; *Management Science*, Vol.36, p.269-273.
- HARKER, P.T., VARGAS, L.G.[1987], "The Theory of Ratio Scale estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, Vol.33, p.1383-1403.
- HILDEBRANDT, S.[1990], "Information in the operations research proces". *European Journal of Operational Research* 8, p.123-129.
- HOLDER, R.D.[1990], "Some Comments on the Analytic Hierarchy Process". *Journal of Operation Research Society*, Vol.41, No;11, 1072-1076.
- HOLIN [1981], "*L'Optimisation multi-objectifs: approche théorique et essai d'application à la planification industrielle*". These de 3ème cycle. Faculté de Science Economique et de Gestion, Dijon.
- HOUDAYER, R.[1993], *Evaluation financiere des projets*. Economica, Paris.
- HURSON, C., ZOPOUNIDIS. [1996], "Méthodologie multicritère pour l'évaluation et la gestion de portefeuilles d'actions". DT-GREQAM, n°96-B02.
- HWANG, C.L., Yoon K. [1981]. *Multiple Attribut Decision Making: Methods and Application: A State of the Art, Survey. Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems*. Springer Verlag, Berlin.
- HWANG, C.L., MASUD. [1979], "Multiple objective decision making: Methods and Applications". *Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems. No.164*. Springer Verlag, Berlin.
- IGNIZIO,P.[1984]. *Linear programing in single - multiple - objective system*. Prentice Hall.

- IAEA (International Atomic Energy Agency). [1976], "Nuclear Power Planning Study for Indonesia". Vienna.
- KARNI, K.P, FEIGIN, BREINER, A.[1992], "Multicriterion Issues in Energy Policy Making". *European Journal of Operational Research*, Vol. 56, p.30-41
- KEENEY, R., RAIFFA, H.[1976], *Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Trade offs*. Willey, New York.
- KFA/BPPT [1992], "MARKAL Model: Energy Strategies, Energy R and D Strategies, Technology Assessment for Indonesia". Joint Indonesian-German Research Project, BPPT-KFA, KFA-STE, Julich, Germany..
- KFA/BPPT, [1992], "The Indonesian Electricity Sector: Final data and Modeling Report". Joint Indonesian German Research Project, KFA-STE, Julich, Germany..
- KFA/BPPT, [1992] "Environmental Impacts of Energy Strategies for Indonesia-Electricity Sector and Coal Sector ", Joint Indonesian German Research Project, KFA-STE, Julich, Germany.
- KFA/BPPT, [1992] "Concentration and Deposition of Air Pollutant On Jawa: Data and Modelling Report ", Joint Indonesian German Research Project, KFA-STE, Julich, Germany.
- KFA/BPPT(1994) "Emission Coefficients and Spatial Distribution of Emission Sources". Joint Indonesian German Research Project. KFA-STE, Julich, Germany..
- KFA/BPPT(1994) "Emission Coefficients of Power Plants, Industrial Boilers and Refineries: Data Report", Joint Indonesian German Research Project, KFA-STE, Julich, Germany.
- KHATIB, H. [1996], "Financial and economic evaluation of projects with special reference to the electrical power industry". *Power Engineering Journal*, February, p.42-54.
- KHORRAMSHAHGOL, R., AZANI, GOUSTI, Y.[1988], "In Integrated Approach to Project Evaluation and Selection". *IEEE Transaction on Engineering Management*, Vol.35, No.4, pp.265-270.
- KHORRAMSHAHGOL, R., GOUSTY, Y. [1986], "Delphic Goal Programming (DGP): A Multi-Objective Cost/Benefit Approach to R & D Portfolio Analysis". *IEEE Transactions On Engineering Management*, Vol.EM-33, No. 3, August.
- KIDD, J.B, PRABHU, S.P.[1990], " A Practical Exampeld of Multi Attribute Decision AidingTechnique". *OMEGA*, Vol.18, No.2, p.139-149.

- KLEEMAN, M.[1994], "*Energie Use and Air pollution in Indonesie: Supply, Strategies, Environmental Impact and Pollution Control*". Avebury Studies in Green Research, Ashgate Publishing limited, Aldershot, England.
- KLEINDORFER, P.R., PARTOVIF, Y.[1990], "Integrating Manufacturing Strategy and Technology Choice". *European Journal of Operational Research*, Vol.47, p.214-224.
- KO, S.K, FONTANE, D.G., MARGETA J.[1994], "Theory and Methodology: Multiple reservoir system operational planning using multi-criterion decision analysis". *European Journal of Operational Research*, Vol. 76, p. 428-439.
- LARDERA, S. QUINIO, B.[1996], *Information et décision stratégique*. Masson, Paris.
- LAMBERT, G. [1988], "Choix d'investissements : un nouvel outil de décision". *Revue Française de Gestion*, Mars-Avril-Mai, p. 21- 35.
- LEROY, D [1996], "Le management par projets: entre mythes et réalités". *Revue Française de Gestion*, Janvier-Fevrier, p.109-120.
- LITTLE, I.M.D, MIRRLEES, J.A. [1974], *Projet appraisal and planning for developing countries*. Heinement Educational Books, London.
- LITTELE, J.D.C.[1989]. "Décision Support System for Marketing Management". *Journal of Marketing*, Vol.43, p.9-26.
- MARTEL, J.M., AOUNI, B.[1990], "Incorporating the Decision Maker's Preferences in the Goal Programming". *Journal of Operation Research Society*, Vol.41, p.1121-1132.
- MARTINO, J.P. [1996], *Research and Development Project Selection*. John Willey & Sons, Inc., New York.
- MASUM, R.M., TABUCANON, M.T. [1991], "An Integrated Multi-Criteria Approach For Selecting Industries For Investment Promotion". *Report No. I.E&M/232*, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- MAYSTRE, L.Y, PICTET, J., SIMOS, J.[1994]. *Méthodes multicritères ELECTRE: Description, conseils pratiques et cas à la gestion environnementale*. Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne.
- MERUNKA, D. R. [1987], *La prise de décision en management*. Vuibert gestion.

- MERUNKA, D. R., WAGNER P., CAVAT P. [1987], L'utilisation du jugement managérial en marketing: la procédure d'analyse hiérarchique. *Recherche et Applications en Marketing*, No.4.
- MIGAS [1991], "Oil and Gas Reserves". Directorate of Oil and Gas, Department of Mines and Energy of Indonesia, Jakarta.
- MIGAS [1994, 1996, 1998], "Statistical Review of Oil and Gas in Indonesia", Directorate of Oil and Gas, Department of Mines and Energy of Indonesia, Jakarta.
- MISER, H. J. , QUADE. E.S. [1995], *Handbook of Systems Analysis : Craft Issues and Procedural Choices*. John Willey & Sons.
- MOHANTY, R.P.[1992], "Project selection by a multiple-criteria decision-making method: an example from a developing country". *International Journal of Project Management*, Vol. 10, No. 1, February, p. 31-38.
- MUKHERJEE K., BERA. A. [1995], "Application of goal programming in project selection decision - A case study from the Indian Coal mining industry". *European Journal of Operational Research*, Vol. 82.
- MUNASINGHE, M. [1992], "Efficient management of the power sector in developing countries". *Energy Policy*, February, p. 94-103.
- MUNASINGHE, M.[1989], "*Electric Power Economics*". Butterworths, Guildford. UK.
- NARASIMHAN, R., VICKERY, S.K.[1998], "An Experimental Eluation of Articulation of Preferences in Multiple Criterion Decision Making Methods". *Decision Science*, Vol.19, p.880-888.
- NEMLS, K.R. , PORTER, A.L.[1981], "EFTE: An interactive Delphi methode". *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 28, 43-61.
- NOEL, M. [1976], *Comparaison critique des méthodes d'évaluation de l'OCDE et de l'ONUDI, Analyses critiques des méthodes d'évaluation de projets*. République Française, Ministère de la Coopération, Paris.
- l'ONUDI [1990], *Directives Pour l'Evaluation des Projets: Formulation et Evaluation des Projets*.No.2, New York.
- O'LEARY, D.E.[1986], "Multiple criteria decision making in accounting expert system". *OMEGA*, Vol.8, No.2, p.163-172.



- O'SHAUGHNESSY, W. [1991], *La phase de développement d'un projet industriel : Proposition d'une approche méthodologique*. Thèse de Doctorat Université d'Aix-Marseille-III.
- O'SHAUGHNESSY, W. [1992], *La faisabilité de projet*, Les Editions SMG, Trois-Rivières, Québec.
- PATTERSEN, N [1989]. *Que font les gestionnaires de projet*. Tour d'horizon, Revue de Gestion 2000.
- POMEROL J.C, BARBARA ROMERO S. [1993], *Choix multicritère dans l'entreprise*. Hermes, Paris.
- PLN (State Electricity Corporation), [1994-a], "Electrification Development in the Period of Long Term Development Stage-II (PJPTII)", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1994-b], "Exposing of Electricity Supply and Demand in Indonesia: Present Situation and Future Plans (Focusing on Future Role of Coal)", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1995], "Corporate Plan and Strategy (Rensalita)", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1998], "Statistik PLN 1980-1997", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1992], " Hydro Power Plant Data Base Cost", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1992], " Geothermal Data Base Cost", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1992], " Disbursement of Selected Project", Jakarta.
- PLN (State Electricity Corporation), [1996], " Pembangkit Tenaga Air Yang sudah di Studi", Jakarta.
- PURNOMO, B. [1995], *Tenaga listrik : Profil dan Anatomi Hasil Pembangunan 25 Tahun*. PT.Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- RAMELAN, R. [1994], Pengembangan Industri Rekayasa dan Peralatan Dalam Rangka Menunjang Penguasaan Teknologi. "Seminar on Coal Characterization and Boiler Design", BPPT-USAID.
- RAMANATHAN, R., GANESH, L.S. [1995], "Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria". *Socio-Econ. Plann.Sci.* Vol. 29, No. 3, p. 197-218.

- ROMERO, C. [1991], *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, London.
- ROPER, L.G.C., SHARP, J.A.[1990], "The Analytic Hierarchy Process and its application to an Information Technology Decision". *Journal of Operational Research Society*, Vol.41, No.1, p.49-59.
- ROSNAY, J. [1975], *La macroscopie : Vers une vision globale*. Edition du Seuil, Paris.
- ROY, B. [1985], *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris.
- ROY, B., BOUYSSOU, D.[1993], *Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas*. Economica, Paris.
- SAATY, T.L. [1994-a]. "Theory and methodology: highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, p. 426-447.
- SAATY, T.L. [1994-b]. *Fundamental of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS publication, Pittsburg PA.
- SAATY, T.L.[1995], "How to make a Decision: the Analytic Hierarchy Process". *Interfaces*, Vol.24.No.6.
- SAATY, T.L., VARGAS, L.G.[1991]. *Prediction, Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Press.
- SAATY, T.L.[1990], "An Exposition of the AHP in reply to: Remarks on the Analyse Hierarchy Process" *Management Science*, Vol.36, No.3, p.259-268.
- SAATY, T.L.[1987], "Rank Generation Preservation and reversal in the AHP", *Decision Science*, Vol.18, No.2, p.157-177.
- SAATY, T.L.[1986], "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, Vol.32, No;7, p.841-855.
- SAATY, T.L.[1984], *Décider face à la complexité*. Entreprise Moderne d'Édition, Paris.
- SAATY, T.L. [1980]. *The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority, Resources Allocation*. McGraw-Hill, Inc.
- SANTHANAM, R., MURALIDHAR, K., SCHNIEDERJANS, M.J. [1989], "A Zero-One Goal Programming Approach for Information System Project Selection". *OMEGA International Journal of Management Science*, Vol. 17, No. 6, p. 583-593.

- SANTHANAM, R. , SCHNIERDERJANS, M.J.[1993], " A Multiobjective Constrained Resources Information System Project Selection Method". *European Journal of Operational Research*, Vol. 70, No.2, p.244-53..
- SCHARLIG, A.[1985], *Décideur sur Plusieurs Critères*, Presses Polytechniques, Romandes.
- SCHNIEDERJANS, M.J., ZORN, J.S, JOHNSON, SS.[1993], "Allocating total wealth : A Goal Programming Approach". *Computer and Operation Research*, Vol. 20, Issue.7, p.679-85.
- SCHNIEDERJANS, M.J.[1995], *Goal programming methodology and applications*.Kluwers Publishers, Boston.
- SIMON, H.A.[1983], *Model of Bounded Rationality*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- SIMON, H.A.[1980], *Le Nouveau Management: La Décision par Les Ordinateurs*. Economica, Paris.
- SIMON, H.A.[1979], "Rational Decision Making in Bussiness Organisation". *American Economic Review*, Vol.69, p.493-513.
- SIMON, H.A.[1978], *Administration et processus de décision*. Economica, Paris.
- SOUDER, W.E.[1978], "A System for using R&D Project Evaluation Methods". *Researche Mangement*, Vol.2&, p.29-37.
- SOUDER, W.E.[1984], *Project Selection and Economic Appraisal*. MA-Van Nostrand Reinhold.
- SUDJA, N.[1994], "Penyediaan Tenaga Listerik di Tujuh Negara Kawasan ASIA/PASIFIK: Suatu Tinjauan". "Seminar Nasional III Tenaga Listerik", ITB-Bandung, 1- 4 Februari 1994.
- SUDJA, N. [1990], "Prospects of Nuclear Power Plants in Jawa Power Systems", *Seminar on Financing of Nuclear Power Projets in Developing Countries*, IAEA, Jakarta, Indonesia.
- SUEYASHI, T., SEKITANI, K.[1998], "Goal Programming regression with several serial correlation: policy implicatios for Japanese telecommunication infrastucture devevelopment", *OMEGA*, Vol.26, No.2, p.195-205.
- SUTADI, C.R. BECTOR et I. GOULTER, [1995], "Theory and Methodology: Multiobjective water resources investment planning under budgetary uncertainty

- and fuzzy environment". *European Journal of Operational Research*, Vol.82, p. 556-591.
- TABUCANON, M.T.[1988], *Multiple criteria decision making in industry*, Elsevier.
- TAMIZ, JONES, D.F, EL-DARAI, E.1993], " A review of Goal Programming and for its applications" *Annals of Operations Research*, Vol.58, p.39-53.
- TAMIZ, JONES, D.F, ROMERO, C.[1998], "Goal Programming for Decision Making: An Overview of the current State-of-the-art", *European Journal of Operational Research*, Vol.111, p. 569-581.
- TANG, J.C.S, PHATARALAOHA, Y.[1987], "Project Appraisal for Developing Countries: Systematic Approach", *Socio-Economic Planning Science.*, Vol.21, No;6, p.377-387.
- TURBAN, E.[1992], *Decision Support and Expert System: Management Support System*. Macmillan Publishing Company, New York.
- TURVEY, R., ANDERSON, D. [1977], *Electricity Economics: Essays and Case Studies*. The John Hopkins University Press, Baltimore.
- UNIDO (United Nations Industrial Development Organisation), [1991], *Manual for the Preparation of Industrial Feasibility Studies*, United Nations, New York.
- VARGAS, L.G.[1990], "An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications". *European Journal of Operational Research*, Vol.48, p. 2-8.
- VINCKE, P.H.[1989], "L'Aide Multicritère à la Décision", édition de l'U.L.B, Ellipses.
- WANG, X., MCDONALD, J.[1994], *Modern Power System Planning*.Mc Graw- Hill International Editions, UK.
- WEBSTER, F.M. [1978], *The Management of Projets: An examination of the State of the Art as Represented by Current Literature*. Thèse de doctorat (Inédit), Michigan State University.
- WEDLEY, W.C.[1990], " Combining qualitative and quantitative factors: an analytic hierarchy approach". *Socio.-Econ. Plann.*, Vol.24, p.57-64.
- WHITE, D.J.[1990], "Bibliography on the application of mathematical programming multiple objective methods". *Journal of Operation Research Society*, Vol.41, p.669-691.

- WORLD BANK, [1997], "Estimating Construction Costs and Schedules: Experience with Power Generation Projects in Developing Countries". Technical Paper No.325-Energy Series, Washington D.C.
- WORLD BANK, [1995], "Indonesia : Asssestment of Energy and Electrical Power Projet ", Report No.12920-IND, Washington D.C.
- WORLD BANK, [1993], "Indonesia, Energy and Environment : A Plan of Action for Pollution Control", Report No.11871-IND, Washington D.C.
- ZELENY, M.[1982], *Multiple Criteria Decision Making*. Mc.Graw Hill Book Company, New York.
- ZUHAL. [1995] *Ketenagalistrikan Indonesia*. PT. Ganeca Prima, Jakarta.
- ZOLLER, H.G.[1992]. *Aide à la décision-l'évaluation des projets*. Economica, Paris.



**Tableau 1.2** Évaluation fournie par les répondants concernant  
aux préférences relatives des éléments de décision comparés deux à deux.  
( Niveau hiérarchique de décision considérée : le sous-critères financières)

Sous-critères financières considérés	Echelle de pondération utilisée sur la préférence relative																	Sous-critères financière considérés
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Coût unitaire											●							T. rentabilité
Coût unitaire							●											V.A.N
Coût unitaire					●													T. récupération
T. rentabilité						●												V.actuelle nette
T. rentabilité		●																T. récupération
V.A.N					●													T. récupération

**Tableau 1.3** Évaluation fournis par les répondants concernés aux  
préférences relatives des éléments comparés deux à deux.  
( Niveau hiérarchique considéré: le sous-critère économique)

Sous-critère économique considéré	Echelle de pondération utilisée sur la préférence relative																	Sous-critère économique considéré
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Cr. emplois																		Dev.regionale
Cr. emplois									●						●			Rel. industrielle
Cr. emplois													●					Dev. ress. Locaux.
Dev.regionale					●													Rel. industrielle
Dev.regionale							●											Dev. ress. locaux
Rel. industrielle													●					Dev. ress. locaux





**Tableau 1. 6** Évaluation fournis par les évaluateurs concernés aux préférences relatives des éléments de décision comparés deux à deux.  
( Niveau hiérarchique considéré: le sous-critère stratégique)

Sous-critère stratégique considéré	Échelle de pondération utilisée sur la préférence relative																		Sous-critère stratégique considéré
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Adaptation.tech.						●												Asst. technique	
Adaptation.tech.				●														Coop.industrielle	
Adaptation.tech.												●						Res.financier	
Asst. technique								●										Coop. industrielle	
Asst. technique													●					Res.financière	
Coop. industrielle															●			Res.financière	

## ANNEXE -II

**EVALUATION DES PROJETS PROPOSES POUR CHACUN DE CRITERES  
QUALITATIFS RETENUS PAR LES REpondANTS ENVISAGES**

**Tableau 2.1** Évaluations de critère de financement (qualitatif) fournies par les responsables envisagés sur les projets proposés

Noms et Numéro de projet proposée	l'intensité de quantification pour sous critère financière-qualitatif		
	Taux de rentabilité (0,261)	Valeur actuelle nette (0,069)	Taux de récupération (0,022)
	Grande = 0,169 Moyenne = 0,073 Faible = 0,019	Accepté = 0,061 Refusé = 0,008	Grande = 0,014 Moyenne = 0,006 Faible = 0,002
1.Paiton I	Faible	Refusé	Grande
2.Paiton II	Faible	Refusé	Grande
3.Tanjung Jati B	Faible	Refusé	Moyen
4.Gunung Salak	Faible	Refusé	Moyen
5.Patuha	Moyen	Accepté	Moyen
6.Dieng	Moyen	Accepté	Grande
7.Sarulla	Faible	Refusé	Grande
8.Karaha	Faible	Accepté	Moyen
9.Wayang Windu	Faible	Refusé	Moyen
10.Drajat	Moyen	Accepté	Moyen
11.Jatigede	Grande	Accepté	Faible
12.Cimandiri	Moyen	Accepté	Faible
13.Ayung	Grande	Accepté	Faible
14.Maung	Grande	Accepté	Moyen
15.Cibuni	Moyen	Accepté	Moyen
16.Cipasang	Moyen	Accepté	Moyen
17.Lesti	Grande	Accepté	Moyen
18.Kali Oyo	Grande	Accepté	Faible

**Tableau 2.2** Évaluations de critère économique (qualitatif) fournies par les responsables envisagés sur les projets proposés

Projets proposés	l'intensité de quantification sous critère économique			
	Création d'emplois	Développement régional	Liens entre les industries	Dev.ress.locaux
	Grande = 0,012 Moyenne = 0,004 Faible = 0,002	Significative = 0,102 Moyenne = 0,026 Minimale = 0,011	Exceptionnels = 0,011 Bons = 0,004 Moyen = 0,003 Insuffisant = 0,001	Important = 0,046 Moyen = 0,019 Mineur = 0,008
1.Paiton I	Grande	Significatif	Bon	Mineur
2.Paiton II	Grande	Moyen	Exceptionnel	Moyen
3.Tanjung Jati B	Grande	Moyen	Insuffisant	Moyen
4.Gunung Salak	Faible	Minimal	Insuffisant	Important
5.Patuha	Faible	Minimal	Bon	Important
6.Dieng	Moyenne	Moyen	Exceptionnel	Important
7.Sarulla	Moyenne	Significatif	Moyen	Moyen
8.Karaha	Moyenne	Significatif	Moyen	Moyen
9.Wayang Windu	Moyenne	Significatif	Bon	Important
10.Drajat	Moyenne	Significatif	Bon	Important
11.Jatigede	Grande	Significatif	Exceptionnel	Important
12.Cimandiri	Grande	Moyen	Exceptionnel	Important
13.Ayung	Moyenne	Significatif	Moyen	Moyen
14.Maung	Moyenne	Significatif	Moyen	Moyen
15.Cibuni	Moyenne	Moyen	Moyen	Moyen
16.Cipasang	Moyenne	Moyen	Moyen	Moyen
17.Lesti	Moyenne	Moyen	Moyen	Important
18.Kali Oyo	Moyenne	Moyen	Bon	Important

**Tableau 2. 3** Evaluations de critère sur l'impact environnementaux (qualitatif)  
fournies par les responsables envisagés sur les projets proposés

Numéro de projet proposé	l'intensité de quantification sous critère environnement		
	Qualité d'eau et sol ( 0,018 )	Eco-système naturelle ( 0,01)	Changements sociaux (0,004 )
	Majeure = 0,012	Significatif = 0,007	Significatif = 0,003
	Moyenne = 0,004 Mineure = 0,001	Minimale = 0,003 Négligeable = 0,001	Minimale = 0,0008 Négligeable = 0,0002
1.Paiton I	Majeure	Significatif	Significatif
2.Paiton II	Moyenne	Significatif	Significatif
3.Tanjung Jati B	Moyenne	Minimal	Minimal
4.Gunung Salak	Mineure	Négligeable	Minimal
5.Patuha	Mineure	Minimal	Négligeable
6.Dieng	Moyenne	Minimal	Négligeable
7.Sarulla	Moyenne	Minimal	Minimal
8.Karaha	Moyenne	Minimal	Minimal
9.Wayang Windu	Moyenne	Significatif	Négligeable
10.Drajat	Mineure	Significatif	Minimal
11.Jatigede	Majeure	Significatif	Significatif
12.Cimandiri	Moyenne	Significatif	Minimal
13.Ayung	Mineure	Minimal	Minimal
14.Maung	Mineure	Minimal	Significatif
15.Cibuni	Mineure	Minimal	Minimal
16.Cipasang	Moyenne	Négligeable	Minimal
17.Lesti	Moyenne	Négligeable	Négligeable
18.Kali Oyo	Moyenne	Négligeable	Négligeable

**Tableau 2.4 Évaluations des critères stratégiques (qualitatif) sur les projets proposés  
fournies par les responsables envisagés**

Projets proposés	l'intensité de quantification sous critère stratégique			
	Adaptation technologique ( 0,02 )	Assistance technique (0,007 )	Coop. industrielle (0,004 )	Ressources de financement (0,046 )
	Facile = 0,015 Normale = 0,004 Difficile = 0,001	Très Bon = 0,005 Bon = 0,001 Faible = 0,0008	Très bonne = 0,003 Moyenne = 0,0007 Faible = 0,0002	Très bonne = 0,035 Bonne = 0,006 Faible = 0,002
1.Paiton I	Difficile	Bon	Faible	Faible
2.Paiton II	Normale	Très bon	Moyenne	Bonne
3.Tanjung Jati B	Difficile	Très bon	Très bonne	Faible
4.Gunung Salak	Difficile	Bon	Faible	Faible
5.Patuha	Difficile	Faible	Moyenne	Faible
6.Dieng	Normale	Très bonne	Moyenne	Bonne
7.Sarulla	Normale	Bon	Très bonne	Bonne
8.Karaha	Normale	Bon	Moyenne	Faible
9.Wayang Windu	Difficile	Bon	Moyenne	Faible
10.Drajat	Difficile	Bon	Faible	Faible
11.Jatigede	Facile	Bon	Très bonne	Faible
12.Cimandiri	Facile	Bon	Très bonne	Très bonne
13.Ayung	Facile	Bon	Très bonne	Très bonne
14.Maung	Facile	Bon	Moyenne	Bonne
15.Cibuni	Facile	Bon	Moyenne	Bonne
16.Cipasang	Facile	Bon	Très bonne	Bonne
17.Lesti	Facile	Bon	Très bonne	Bonne
18.Kali Oyo	Facile	Bon	Moyenne	Très bonne
			Très bonne	Très bonne

## ANNEX-III

**DONNEES RELATIVES A CHACUN DES PROJETS PROPOSES ET CHACUN  
DE TYPE DU SYSTEME CENTRAL ELECTRIQUE DE JAVA BALI**

**Tableau 3.1** Listes des projets centraux électriques du système de Java- Bali  
proposées a mise en service en période de l'an 2000-2005 (\*,\*\*)

No	Nome de projet	Location	Type de la source énergétique
1	Paiton I	Java de l'Est	Central Thermique (charbon)
2	Paiton II	Java de l'Est	Central Thermique (charbon)
3	Tanjung Jati B	Java de Central	Central Thermique (pétrole)
4	Gunung Salak	Java de l'Ouest	Central Géothermique
5	Patuha	Java de l'Ouest	Central Géothermique
6	Dieng	Java de Central	Central Géothermique
7	Sarulla	Java de l'Ouest	Central Géothermique
8	Karaha	Java de l'Ouest	Central Géothermique
9	Wayang Windu	Java de l'Ouest	Central Géothermique
10	Drajat	Java de l'Ouest	Central Géothermique
11	Jatigede	Java de Central	Central Hydraulique
12	Cimandiri	Java de l'Ouest	Central Hydraulique
13	Ayung	Java de Central	Central Hydraulique
14	Maung	Java de Central	Central Hydraulique
15	Cibuni	Java de Central	Central Hydraulique
16	Cipasang	Java de Central	Central Hydraulique
17	Lesti	Java de l'Est	Central Hydraulique
18	Kali Oyo	Java de l'Est	Central Hydraulique

**Source:**

(\*) State Electricity Corporation-PLN [1995] "Corporate Plan and Strategy (Rensalita)", 1995-2000.

(\*\*) State Electricity Corporation-PLN [1998]. "Exposing of Electricity Supply and Demand in Indonesia  
Present Situation and Future Plan.

**Tableau 3. 2** Coûts d'investissement, coût de la production unitaire, capacité de puissance et de la production énergie d'électricité en charge de point des projets électriques proposés du système de Java-Bali

NO	Nome de projet	Coût d'investissement (million US \$ )	Coût d'unitaire (Cents de dollar per kWh)	Capacité de Puissance (MW)	Production Énergie en puissance de crête (FD)( 8760)(Mwh)
1	Paiton I	1245	8,4776	600	4204800
2	Paiton II	990	6,5987	615	4309920
3	Tanjung Jati B	1770	5,7300	1320	9250560
4	Gunung Salak	285	8,467	165	1156320
5	Patuha	89	7,760	220	1541760
6	Dieng	164	7,6595	150	1051200
7	Sarulla	570	8,3207	220	1541760
8	Karaha	380	7,7650	220	1541760
9	Wayang Windu	434	8,3994	220	1541760
10	Drajat	475	6,9500	275	1927200
11	Jatigede	535	3,500	175	1533000
12	Cimandiri	1007	4,547	351	3074760
13	Ayung	134,5	3,876	44	385440
14	Maung	1100	4,653	360	3153600
15	Cibuni	432	3,987	172	1506720
16	Cipasang	389	4,234	165	1445400
17	Lesti	98	3,765	13	113880
18	Kali Oyo	87	2,876	29	254040

Sources:

1. State Electricity Corporation-PLN [1995] "Corporate Plan and Stretegy (Rensalita)", 1995-2000.
2. Electric Power Information Center (EPIC, 1980)
3. Base de données de coût de la construction et les séries des données de PLN (1992-1998)
4. KFA/BBPT [1992]: "Electricity Sector end Coal sector"

**Tableau 3.3** Projection de la demande en énergie d'électricité du système de central électrique de Java- Bali (par secteurs en scénario de la croissance moyenne)

L'année	Domestique (GWh)	Industrie (GWh)	Commerciale (GWh)	Ménages (GWh)	Totale (GWh)
1999	12862,96	28422,39	3736,23	2631,64	47653,22
2000	13650,17	31122,52	3997,76	2721,11	51491,56
2001	14485,56	34079,16	4277,61	2813,63	55565,96
2002	15372,08	37316,68	4577,04	2909,29	60175,09
2003	16312,85	40861,77	4897,43	3008,21	65080,26
2004	17311,19	44743,64	5240,25	3110,49	70405,57
2005	18370,64	48994,28	5607,07	3216,25	76188,24
2006	19494,92	53648,74	5999,57	3325,60	82468,83
2007	20688,01	58745,37	6419,54	3438,67	89291,59
2008	21954,12	64326,18	6868,91	3555,59	96704,80
2009	23297,71	70437,17	7349,73	3676,47	104761,08
2010	24723,52	77128,69	7864,21	3801,47	113517,90
2011	26236,61	84455,92	8414,71	3930,72	123037,96
2012	27842,29	92479,24	9003,73	4064,37	133389,63
2014	31354,47	110884,92	10308,38	4345,45	156893,22
2015	33273,36	121418,98	11029,96	4493,19	170215,49
Taux de Croissant de la demande	9,5 %	6,12%	7,0%	3,4%	8,02 %

Source:

1. Electric Power Information Center (EPIC, 1998)
2. Statistik PLN (1998)



**Tableau 3.4** Coefficients des émissions des polluants de projet électriques Indonésienne (pollution de l'air et atmosphérique globale) pour chaque type de sources matériel primeurs energetiques

Polluant	Type de sources matière energetiques				
	Charbon	Pétrole (Oil stéam)	Turbine (Oil fire turbines)	Hydraulique	Géothermique
CO <sub>2</sub> (10 <sup>2</sup> lb/10 <sup>8</sup> BTU)	5,37	1,87	8,05	0,16	17
CO(lb/10 <sup>6</sup> BTU)	0,5	0,15	30	-	0,007
NO <sub>x</sub> (lb/10 <sup>6</sup> BTU)	1,7	0,1	1,5	-	0.00052
SO <sub>2</sub> (lb/10 <sup>6</sup> BTU)	2,9	0,37	1,9	-	
SPM(lb partic. /10 <sup>6</sup> BTU)	0,5	0,1	0,5	-	-

Sources :

(\*)KFA/BPPT(1994) "Emmison Coefficients of Power Plants, Industrial Boilers and Refineries: Data Report",

(\*\*) KFA/BPPT[1992]: "The Indonesian Electricity Sector: Final data and Modeling Report"

(\*\*\*)KFA/BPPT(1994) "Emmison Coefficients and Spatial Distribution of Emission Sources"

Facteur des conversions

1 BTU ~ 2,930 10<sup>-6</sup> Kwh

1 BTU/h ~ 0,2931 Watt

**Tableau 3.5** Caractéristique des facteurs de puissance électrique disponible ( $\alpha$ ) pour chaque type de central électrique

Type de ressources énergétiques de centrale	Facteur de charge de la puissance ( $\alpha$ )			
	Charge de point ( $\tau_1=650$ )	Charge de moyen I ( $\tau_2=2582$ )	Charge de moyen II ( $\tau_3=3227$ )	Charge de base ( $\tau_4=2301$ )
Charbon	0,90	0,75	0,75	0,60
Pétrole	0,90	0,75	0,70	0,40
Gaz	1,0	1,0	0,0	0,0
Géothermique	1,0	0,80	0,80	1,0
Hydraulique	1,0	0,80	0,80	1,0

Source:

(\*) Zulhal (1995), "Ketenaga listrikan Indonesia".

(\*\*) KFA/BPPT (1992) " MARKAL Model: Energy Strategies, R and D Strategies, Technology Assessment for Indonesia"

(\*\*\*)KFA/BPPT[1992]: "The Indonesian Electricity Sector: Final data and Modeling Report"

**Tableau 3.6** Facteurs de charge de demande en énergie d'électricité pour chacune de type des charges de puissance

Type de charges de puissance (k)	Facteurs de demand en énergie par l'une période			
	1998	2000	2002	2004
Charge de point	11,0	10,7	10,4	10,3
Charge de moyen I	31,0	31,0	30,6	29,5
Charge de moyen II	35,0	35,1	35,4	36,2
Charge de base	23,0	23,2	23,5	24

Source:

(\*) Zulhal (1995), Ketenaga listrikan Indonesia

(\*\*) KFA/BPPT (1992) "" MARKAL Model: Energy Strategies, Energy R and D Strategies, Technology Assessment for Indonesia"

(\*\*\*)KFA/BPPT[1992]: "The Indonesian Electricity Sector: Final data and Modeling Report"

---

## RESUME

La sélection du projet présente un problème de décision multicritères et multiobjectifs constituant les dimensions qualitatives et quantitatives. Afin d'optimiser tels problèmes nous proposons un modèle d'aide à la décision intégré. Les objectifs du modèle développé tenant compte d'évaluation non seulement les critères traditionnels des financiers mais aussi celles-ci liés aux politiques de type de projet électrique i.e. à la réservation des ressources matière énergétiques à long terme, à la réduction d'émission de gaz à effet de serre/pollution de l'air et aux impacts environnementaux, au développement régional, à l'augmentation de création d'emplois etc. Ces objectifs par lesquels sont évalués par les critères intégrés de technico-socio - écologique - finance - économique - stratégiques incluent les facteurs tangibles et intangibles. L'approche se déroule en trois phases principales. A la phase d'analyse, à partir d'une source de l'information formelle/informelle donnée, on décompose le problème des sélections en éléments des décisions envisagées. A la phase évaluation multicritère, nous sommes servis de la Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP) pour obtenir les poids d'importance des éléments des décisions qualitatives retenues d'après des les experts compétences. A la phase d'optimisation, un modèle de la programmation mathématique à but multiple du "*Goal Programming 0 -1*" a été construit pour que nous permettions "d'optimiser" de processus décisionnel en respectant des contraintes établies et en attendant des objectifs désirés. D'une application du modèle au cas réel de la sélection des projets électrique du système de Java Bali, nous avons pu fournir une **décision informationnelle importante** qui a permis de conduire au décideur à prendre sa décision. Ainsi, depuis le budget disponible de plus en plus est limité et l'accélération de demande en électricité tend à baisser pour l'avenir, le modèle peut nous permettre tant d'examiner la planification des projets sous un système de priorité considérant la limitation des ressources et les autres contraintes que d'analyser la valeur de '*trade off*' entre les objectifs réalisés.

---

A DECISION SUPPORT MODEL FOR PROJECT SELECTION: INTEGRATION OF THE METHODE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) AND THE MULTI-OBJECTIVE-GOAL PROGRAMMING (APPLICATION TO THE SELECTION OF THE INDONESIAN ELECTRICAL PROJECTS DEVELOPEMENT)

---

## ABSTRACT

Project selection deals with a multicriteria and a multi-objective decision making problems with the tangibles and intangibles criteria. In order to solve such problem, an integrated approach is required. This research presents an integrated decision aid model using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and a 0-1 Goal Programming model for the selection, scheduling and budgeting of electric projects. The form of this decision aid is a multi-criteria and multi-objective approaches which take into account not only financial efficiency objectives but also criteria/objectives related to public projects energy policies. Theses non financial objectives include for instance: maintaining of existing energies resources in long term, reduction of green house gases emissions and other environmental impacts, simulating regional development, increasing employment's opportunities, supporting industrial linkages and transfer of technology etc. These criteria by which of the objectives are evaluated incorporate a technico-socio-environmental-finance-economique -strategic measures by including the quantitative and qualitative factors. Since the budget available for these projects have become increasingly limited in recently years and the raising electricity demand in the electrical network system tends to decline for next decades the decision aid model examines which of the projects currently proposed by authority should be continued under a priority system which consider the amount the budget available and the demand of electricity. Even though this study is focused to the electric project selection of electric supply system to Java - Bali in Indonesia as a case study for application of the proposed decision model, the general methodology could be applied to other problems and in its various projects selection.

---

**DISCIPLINE:** Science de l'Information

---

**MOTS-CLES:** Aide à la décision, Sélection et évaluation de projet, Procédure d'Analyse Hiérarchique (AHP), Programmation mathématique à objectif multiple, Projet électrique, Indonésie, Java-Bali.

---

Laboratoire CRRM. Faculté des Sciences et Technique. Université d'Aix Marseille III  
Centre de Saint Jérôme. 20, Avenue Normandie Niemens. 13397. Marseille.